

## Une objectivité kaléidoscopique : construire l'image scientifique du monde

<merci, quand vous citez ce texte, de vous référer à la version publiée>

Please use the published version when citing or quoting.

Braillard, Pierre-Alain, Alexandre Guay, Cyrille Imbert, et Thomas Pradeu. « Une objectivité kaléidoscopique : construire l'image scientifique du monde ». *Philosophie* 110, n° 2 (1 juin 2011): 46-71.

### 0. Introduction

Dans *Science, Perception and Reality* (1963), Sellars distingue entre l'image manifeste de l'homme et l'image scientifique de l'homme. L'image manifeste correspond à la façon dont nous prenons conscience du monde et de nous-mêmes comme humains dans le monde. L'image scientifique est obtenue à partir des composantes<sup>1</sup>, pas forcément observables, que la science nous amène à postuler. Il est aisé, comme le fait van Fraassen (1980), d'étendre au monde ces concepts initialement limités à l'humain. Le physicien Eddington avait déjà souligné la différence entre le monde du sens commun et celui décrit par la science, à travers son exemple des deux tables (Eddington 2005) : la table correspondant à notre perception habituelle, qui nous semble solide, stable, en un mot substantielle, contraste fortement avec 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 de fait à un moment donné de l'histoire. Ce dernier point est 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 métaphysique<sup>2</sup>, ou encore dans une perspective 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 à la fois de déterminer ce que sont ces images partielles, de parfois se permettre d'aller au-delà de leur interprétation littérale, et également 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 replié l'ontologie sur le plan de la sémantique : « 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

<sup>1</sup> Dans cet article, nous discutons la façon dont on arrive à déterminer ce que sont les composantes de l'image scientifique du monde. Nous discutons donc toujours de *représentations* dont on se demande si on peut les inclure dans une représentation générale du monde. Dans ce qui suit, des termes comme « entité », « objet » désignent donc sauf exception des représentations. Nous n'utilisons donc jamais ces termes pour nommer les choses telles qu'elles peuvent être en soi. 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.

<sup>2</sup> Sellars (1963) 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 » (p. 173, *notre traduction*).

une forme de discours : une théorie est engagée pour les entités, et celles-là seules, que ses variables liées doivent avoir comme références possibles pour que les affirmations faites dans la théorie soient vraies » (Quine 2003, p. 41). Quine défend donc la thèse selon laquelle l'ontologie est subordonnée aux théories et il nous indique de quelle manière elle l'est. Par là même, il fait, à sa manière, une proposition concernant la façon dont on doit identifier les composantes de l'image scientifique du monde, en identifiant les entités auxquelles peuvent référer les variables liées des énoncés d'une théorie.

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 cette image peut être construite, et comment les objets qui en font partie peuvent être identifiés. À cette question, la tradition philosophique a majoritairement répondu en affirmant que les objets appartenant à l'image scientifique du monde étaient identifiés en s'appuyant sur les théories scientifiques<sup>3</sup>. Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, c'est par exemple le cas chez Quine. Néanmoins, une position de ce type nous semble trop restrictive. Les théories ne sont pas toujours de fait formalisées et admettent souvent de multiples descriptions. L'insistance sur une lecture littérale des théories, que défend par exemple van Fraassen (1980), ne règle que les cas les plus simples où les théories sont exprimées dans un langage formel au sens de la logique<sup>4</sup>. Dans cet article, l'un des aspects les plus importants de notre propos sera de montrer que les objets qui peuvent prétendre à 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 scientifique et qu'il existe un mode d'objectivation qui repose sur l'utilisation de l'expérience. Les objets qu'on doit inclure dans l'image n'ont donc pas toujours une origine et une garantie qui soit de type théorique<sup>5</sup>.

Notre argumentation dans cet article suit deux étapes :

1) Tout d'abord, nous discutons la notion de mode d'objectivation, nous présentons les deux modes principaux que nous avons identifiés, à savoir le mode théorique et le mode expérimental, et nous illustrons le plus précisément possible comment ces deux modes sont chacun instanciés dans les deux sciences empiriques principales que sont la physique et la biologie. Nous cherchons donc également à montrer que les mêmes modes d'objectivation sont utilisés dans la création de l'image scientifique dans deux sciences aussi différentes que la biologie et la physique.

2) Dans un second temps, nous tirons une conséquence de l'existence de différents modes : s'il existe au moins deux modes de production 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 par les deux modes, 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. Par là même, nous montrons 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. Nous montrons pour finir que le conflit n'est pas toujours tranché

<sup>3</sup> C'est également implicitement le cas dans les débats sur la question de l'unité de la science ; et le récent article de la *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Cat 2007) ne fait de ce point de vue pas exception.

<sup>4</sup> Nous verrons néanmoins que, même quand elles ne sont pas formalisées, les théories contribuent à l'identification d'objets scientifiques.

<sup>5</sup> 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 » (Harré, 1964, p.74, *notre trad.*). Comme nous le verrons, dans le concept qui nous occupe, les critères reconnus sont d'après nous les modes d'objectivation et une démonstration réussie est une application appropriée de l'un de ces modes.

en faveur du mode théorique, ce qui légitime donc notre expression d'« objectivité kaléidoscopique ».

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

### 1.1 Les différentes étapes de la construction de l'image scientifique du monde

Notre but est de déterminer comment est élaborée l'image scientifique du monde. Pour clarifier cette question, nous proposons d'abord de diviser schématiquement l'élaboration de l'image scientifique 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 mes sentiments ou la représentation que j'ai de moi-même. La plupart de ces entités ne seront pas conservées dans les étapes ultérieures.

2) Le second ensemble correspond à toutes les entités que les scientifiques mentionnent dans leurs productions scientifiques sans que cela soit seulement des façons de parler commodes<sup>6</sup>. Appartiennent par exemple à cette classe les entités que les scientifiques posent de manière hypothétique dans le cours de leur recherche, comme les organismes, les gènes, les particules, les champs, etc. Certaines de ces entités s'avéreront correspondre finalement à des composantes de l'image scientifique partielle produite par telle science, d'autres continueront à être considérées comme des entités fictives. Cette étape n'est pas proprement philosophique, mais scientifique.

3) La troisième étape correspond à la sélection ou la production d'objets dont il est rationnel de considérer qu'ils peuvent être des composantes de l'image scientifique partielle produite par une science particulière, voire de l'image scientifique globale du monde. L'identification d'un objet est, comme nous le verrons, le résultat de l'application d'un mode d'objectivation. (Nous réservons donc le terme d'« objets » aux représentations qui sont sélectionnées ou produites à cette étape et utilisons le terme « entités » pour les représentations d'individus antérieures à cette étape.) Toutes les entités décrites à l'étape précédente n'en font pas partie puisque souvent les scientifiques nomment des entités fictives ou utilisent des variables purement opératoires 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 clair et unique.

4) La dernière étape, strictement philosophique, consiste à sélectionner parmi les objets identifiés à l'étape précédente ceux qui doivent finalement composer l'image scientifique finale, *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'inférence à la meilleure explication, 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 identifiés par l'application des modes d'objectivation (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 ou sous-disciplines

---

<sup>6</sup> Les scientifiques peuvent parfois faire référence à des entités de l'image manifeste du monde pour mieux se faire comprendre rapidement et ce n'est alors qu'une façon de parler.

(mécanique quantique, chimie organique, géologie, etc.), ainsi qu'entre les objets produits par l'application des différents modes au sein de ces sous-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 3.

## **1.2 But de l'article : identifier les modes d'objectivation récurrents à travers les sciences expérimentales**

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 une méthode justifiée qui permet d'identifier des entités distinctes 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 pouvons considérer qu'il peut être envisageable de les intégrer 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 identifions les deux modes d'objectivation dominants, qui correspondent à deux types de justification, par des arguments reposant sur des théories (mode théorique) et par des arguments reposant sur des expériences (mode expérimental)<sup>7</sup>. Nous défendons par ailleurs la thèse que ces deux modes d'objectivation sont chacun instanciés 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 biologie<sup>8</sup>. 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 ensuite différer d'un champ à l'autre.

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

### **2.1 Les scientifiques produisent des images scientifiques partielles**

L'image scientifique globale est une production philosophique élaborée à partir des objets produits par les modes. 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

---

<sup>7</sup> Il est possible, néanmoins, qu'il existe d'autres modes ou que ces deux modes doivent ultimement être eux-mêmes divisés en sous-modes différents. Par exemple, les simulations pourraient constituer un mode d'objectivation distinct, mais ce point ne sera pas abordé plus avant dans cet article.

<sup>8</sup> Un bon exemple de cela est l'ouvrage de référence de philosophie de la biologie (Sterelny et Griffiths 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.

scientifiques quand ceux-ci produisent des images scientifiques 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 de ce monde. Ils doivent donc pour leur propre usage produire des images scientifiques partielles adaptées à leur activité 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. Illustrons plus en détail ce point :

- Dans certains cas, une entité de l'image manifeste sert 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 système écologique.
- 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 trouver de nouvelles hypothèses ou théories permettant de produire une image plus unifiée.
- 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 (Galison, 1987).

## 2.2 La difficile construction des images partielles

Pour créer ces images partielles, les scientifiques doivent de fait se poser dans leur domaine des problèmes du même type que ceux que peut se poser un philosophe cherchant à produire une image scientifique globale cohérente du monde. En effet, même en se limitant à une seule discipline, la production d'une image scientifique « disciplinaire » unifiée et cohérente ne va nullement de soi, du fait de la diversité des productions scientifiques (théories, données expérimentales, simulations, appareils...). On peut exclure que cette image puisse être tirée d'une lecture littérale du discours scientifique. Peu de scientifiques considèrent que le discours scientifique décrit ou représente littéralement le monde. Les vives discussions parmi les scientifiques sur les sens possibles de termes comme « gène » ou « état quantique » le montrent bien. Il existe en effet du terme « gène » de nombreuses définitions scientifiques, partiellement conflictuelles, dont les deux principales sont *unité d'hérédité* (gène évolutionnaire) et *séquence de nucléotides codant pour une protéine fonctionnelle* (gène moléculaire)<sup>9</sup>. De même, la notion « d'état quantique », utilisée constamment dans la théorie, ne possède pas une interprétation unique. Pour certains, un état quantique correspond à un état physique bien défini (interprétation sans variable cachée) ; pour d'autres, il s'agit d'une étiquette correspondant à une classe d'états physiques distincts (interprétation avec variables cachées)<sup>10</sup>. Les exemples précédents montrent bien qu'une image partielle n'est généralement pas aisément construite à l'échelle des disciplines. En conséquence, pour construire une image partielle unifiée qui prenne en compte l'ensemble des recherches d'une discipline, un travail considérable d'interprétation et d'argumentation à partir des théories ou des expériences doit

<sup>9</sup> (Griffiths and Stotz 2007).

<sup>10</sup> (Bub 1997)

être effectué afin de déterminer les objets dont on peut légitimement considérer qu'ils doivent composer la représentation de la partie du monde étudiée.

### 2.3 Le passage des images partielles à l'image globale

La construction de l'image scientifique globale est 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 de fait les principaux identificateurs des éléments qui peuvent finir par constituer cette image, puisque 1) en produisant des expériences, ou des théories, ils produisent le matériau de base sur lequel opèrent les modes ; 2) 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 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 quantique par les scientifiques<sup>11</sup> (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. Cela est considéré comme inacceptable par les épistémologues qui ont, en général, une forte conviction empiriste.

### 2.4 Quelle unité et quelle cohérence pour l'image scientifique globale du monde ?

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) ? 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.

La question à laquelle nous aboutissons ici, à savoir celle de l'unité de l'image scientifique globale du monde, n'est pas sans rapport avec celle de l'unité de la science, posée au XX<sup>e</sup> 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. Pour obtenir l'image globale, il faut alors intégrer les apports des autres sciences à cette image fondamentale, dans la mesure où cela est possible. Ces apports n'ajouteront pas comme tels

<sup>11</sup> Cette interprétation correspond pour l'essentiel à l'interprétation dite de Copenhague.

des composants fondamentaux à l'image, en revanche ils diversifieront les types d'organisation<sup>12</sup>.

À ce stade, nous devons tenir compte des résultats philosophiques qui ont été obtenus à propos de la question de l'unité des sciences et de la réduction entre théories<sup>13</sup> et notamment l'impossibilité de réduire toutes les théories scientifiques aux théories de la physique. En effet, il faut bien admettre que le programme réductionniste a jusqu'ici échoué. La génétique n'a pas été réduite à la biologie moléculaire (Kitcher 1984) et encore moins à la physique. De même, en physique, le paradigme de la réduction de la thermodynamique classique à la physique statistique n'est pas possible au sens de Nagel (Sklar 1967) et on peut au mieux dériver au sein de la physique statistique un analogue de la thermodynamique (Nickles 1973). En l'état, on doit donc admettre qu'il existe un ensemble de théories, chacune valable dans son domaine ou à son niveau de description et qu'une unification des théories de la science n'est pas possible. Néanmoins, cet argument contre l'unité théorique de la science n'est nullement un argument interdisant la production d'une image scientifique globale du monde<sup>14</sup>.

Même si la question de l'unité théorique des sciences a des conséquences sur la façon dont on doit concevoir ce qu'est l'image scientifique globale du monde et ce que sont ses caractéristiques nous voyons également que nous n'avons nullement ici à prendre position sur cette question pour notre propos. L'existence d'une image globale est à nos yeux tout à fait indépendante de la réponse que l'on adopte sur ce débat. Ce morcellement, au moins partiel, de l'image scientifique en sous-images en partie juxtaposées semble avoir en revanche pour conséquence d'éviter les conflits puisqu'il amène à la construction d'une image en mosaïque – sauf, bien sûr, dans les cas où il y a un recouvrement entre domaines, cas dans lesquels, à défaut d'une unification, un choix s'avère nécessaire afin de maintenir la cohérence de l'image.

## 2.5 Image scientifique du monde et réalisme

À ce stade, il est clair que le projet d'élaboration d'une image scientifique du monde ne nous engage pas 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 d'identifier les objets du discours scientifique qui réfèrent aux choses du monde extérieur. Néanmoins, la question de l'élaboration de l'image est aussi pertinente dans le cadre de l'anti-réalisme car elle permet de cerner de façon précise<sup>15</sup> 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<sup>16</sup> sans s'engager ontologiquement sur la « réalité » des composantes de cette image.

<sup>12</sup> Par exemple, les molécules devront être incluses dans l'image non au titre d'objets fondamentaux mais en tant que composées d'objets fondamentaux (typiquement les atomes).

<sup>13</sup> Sur cette question, voir (Nagel 1961).

<sup>14</sup> Par exemple, quelqu'un qui défendrait la thèse selon laquelle l'image scientifique du monde doit en fait être construite à partir du mode expérimental (voir section 3.2) et que l'application de ce mode produit de façon récurrente un même type d'objet (e.g. des processus causaux) pourrait ainsi obtenir une image unifiée.

<sup>15</sup> Par exemple, Van Fraassen, quoique anti-réaliste, passe de longues pages à étudier comment les théories scientifiques doivent être interprétées et comment cette interprétation nous renseigne sur ce que ces théories disent du monde (voir Van Fraassen 2006 et notre section 3.1.1).

<sup>16</sup> Comme nous l'avons indiqué, les critères selon lesquels l'image globale est constituée sont eux-mêmes objets de débats philosophiques. On peut vouloir privilégier par exemple la simplicité, l'économie, la valeur explicative. Il est possible que le réaliste, de par son désir de s'engager ontologiquement sur les composantes de l'image, soit amené à promouvoir certains critères dans la construction de l'image globale (par exemple l'économie, afin de pouvoir s'engager de la façon la plus parcimonieuse possible).

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 donne Godfrey-Smith (2001) 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

Nous défendons la thèse selon laquelle le travail final de construction de l'image scientifique du monde consiste à sélectionner des objets parmi ceux qui ont pu être produits par l'application de ce que nous appelons des *modes d'objectivation*. Nous identifions et discutons dans cette section le mode théorique d'une part et le mode expérimental d'autre part.

Le mode théorique repose sur l'utilisation de productions de la science déjà très élaborées, 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. Qu'est-ce qu'un mode d'objectivation ? Un mode d'objectivation se caractérise par un type de 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 « extraire un objet » à partir des matériaux scientifiques. Un mode n'est en effet pas associé immédiatement à un type d'objets particuliers. De plus, les entités 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 les sous-sections qui suivent, nous décrivons les deux modes d'objectivation qui nous paraissent largement dominer en physique et en biologie<sup>17</sup>.

#### 3.1 Le mode théorique

##### 3.1.1 Description du mode théorique : quelques exemples en physique

Le mode théorique consiste à identifier des objets à partir des théories, c'est-à-dire à partir des productions souvent privilégiées dans les sciences naturelles. S'appuyer sur les théories scientifiques pour produire une image scientifique cohérente et unifiée semble raisonnable. En effet, même si le détail de ce que sont les théories peut varier d'une discipline à l'autre, ces dernières sont d'ordinaire considérées comme ce sur quoi doivent reposer les explications scientifiques. De plus, les théories organisent en un tout cohérent un ensemble (parfois considérable) 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 et ce, même si on présume que les théories réfèrent. En fait, les seules contributions directes des théories à l'image sont négatives car les objets composant cette dernière doivent être au moins compatibles avec ces théories. En d'autres termes, 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 réfère strictement aux relations spatio-temporelles entre objets (thèse relationniste) ou décrit la structure d'un objet particulier, à savoir l'espace-temps (thèse substantialiste). En revanche, ce que l'on peut affirmer avec certitude, c'est que cette théorie est incompatible avec toutes les conceptions classiques d'espace-temps newtoniens, c'est-à-

---

<sup>17</sup> Ces modes sont des « types », qui apparaissent rarement de façon pure, mais ils permettent de clarifier la manière dont se construit l'image scientifique du monde.



dire des espaces-temps où le temps et l'espace sont des dimensions disjointes, où il existe un référentiel privilégié (celui qui est immobile par rapport à l'espace) par rapport auquel les mesures du mouvement ne sont pas relatives<sup>18</sup>.

La possibilité d'une contribution positive des théories à l'image scientifique du monde semble pour sa part souvent compromise par la diversité des descriptions de ces mêmes théories. Il existe rarement *une* description unique et unanimement acceptée d'une théorie scientifique. C'est pourquoi l'approche 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 référer à des objets différents, même si le contenu empirique des deux formulations est en fait identique. Face à cette difficulté, deux voies sont envisageables afin d'identifier ce à quoi peuvent référer des théories et donc les éléments potentiels de l'image scientifique du monde (van Fraassen 2006) : 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 auxquelles semble référer la théorie. En l'occurrence, on peut défendre que les champs de vecteurs présents dans les équations de Maxwell réfèrent à un véritable 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 sous des transformations jugées scientifiquement significatives. Hermann Weyl (1952, p.132) soutient ainsi que ce qui est objectif dans une description scientifique est ce qui est invariant sous un groupe approprié d'automorphismes. Par exemple, la description de ce qui est identifié par réification doit se transformer d'une manière appropriée (invariance ou covariance selon le contexte)<sup>19</sup> sous un changement considéré comme ne modifiant pas la situation physique. Dans notre exemple, le champ électromagnétique (représenté par le tenseur de force) est covariant sous une transformation de référentiel inertiel, c'est-à-dire sous 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. Un bon exemple de l'approche par réification est (Mermin 1998).

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 réfèrent essentiellement à des relations, processus ou structures, c'est-à-dire qu'elles ne nous informent pas directement sur la nature profonde des choses<sup>20</sup>. 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 relations (Krips 1987). Une mesure n'est jamais que le rapport entre une quantité et une autre. Empiriquement, nous serions donc limités épistémologiquement à l'appréhension de structures ou relations. 2) Le langage mathématique, qui est au cœur de nombreuses théories scientifiques, n'est capable de décrire que des entités à un isomorphisme près. Le discours théorique de la science seule ne pourrait

<sup>18</sup> Pour plus de détails, voir (Earman 1989, chap. 2).

<sup>19</sup> 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 ».

<sup>20</sup> Une telle approche structuraliste est souvent attribuée à Poincaré. Voir à ce sujet (Zahar 2001).

nous permettre d'aller, de manière justifiée, au-delà de ce qui est structurel<sup>21</sup>. Dans cette approche, la difficulté est *seulement* de donner des arguments permettant d'identifier la bonne structure.

Il faut noter que les deux approches (structuralisme et réification justifiée par des invariances) permettent à leur façon de répondre au problème posé par la multiplicité des formulations des théories. En définitive, malgré la diversité des descriptions, 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 descriptions empiriquement équivalentes et souvent avoir également recours à des considérations extra-théoriques, c'est-à-dire à des éléments provenant d'un cadre scientifique plus large ou métaphysique (par exemple si on élabore des arguments à partir des notions extra-théoriques de causalité ou de la localité).

### 3.1.2 Quelques applications du mode théorique en biologie

Le mode théorique existe également dans des disciplines qui, comme la biologie, ne possèdent pas un discours théorique aussi formalisé que celui de la physique contemporaine. L'exemple de la théorie de l'évolution par sélection naturelle (TESN) le prouve. Cette théorie se donne pour objectif de comprendre pourquoi et comment des espèces évoluent. Comme l'a montré Richard Lewontin (1970) dans un article fondateur sur les unités de sélection, le noyau ontologique 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*).
3. Il existe une corrélation dans la contribution des parents et des enfants aux générations futures (*hérédité de la valeur adaptative*).

Tel est donc le principe de l'évolution par sélection naturelle, repris aujourd'hui presque mot pour mot dans les manuels sur l'évolution (Ridley 2004). Le noyau de la TESH 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, mais seulement l'exigence d'une corrélation entre la valeur adaptative des parents et celle de leurs descendants. Ainsi, la TESH ne nous dit pas quels sont ses objets mais 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<sup>22</sup>. 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 (cellule, mitochondrie, plaste). On peut même aller au-delà de ce qu'on appelle généralement « le vivant » : c'est ainsi que Richard Dawkins (1976) a proposé d'interpréter la transmission d'idées (les *mêmes*) à l'aune de la TESH. 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 la théorie de l'évolution par sélection naturelle.

On trouve dans les travaux de David Hull une autre manière d'identifier et de caractériser les

<sup>21</sup> 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 (Godfrey-Smith 2006).

<sup>22</sup> Comme le soulignent les trois propositions de (Lewontin 1970), la sélection s'exerce sur des *individus*, ce qui a pour conséquence une évolution de la *population*.

entités impliquées dans les processus évolutifs. Dans (Hull 1980, 318), il propose de distinguer entre deux types d'entités :

*Réplicateur* : Une entité qui transmet sa structure directement lors d'un processus de réplication.

*Interacteur* : Une 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 nécessite une valeur adaptative différentielle, ce qui est la tâche de l'interacteur. Les notions d'interacteur et de réplicateur sont donc définies fonctionnellement. On peut même envisager toute une hiérarchie d'interacteurs et de réplicateurs et considérer que la sélection peut jouer à plusieurs niveaux (Brandon 1988). Dans ce contexte, tous les réplicateurs et les interacteurs sont alors à inclure dans l'image scientifique du monde.

Bien sûr, il y a plus d'une proposition possible pour identifier la structure de la TESN. Par exemple, Richard Dawkins (1976) insiste sur la primauté des réplicateurs. Selon les cas, soit le réplicateur et l'interacteur sont en fait une seule et même entité, soit l'interacteur est une entité subordonnée (un véhicule) pour le réplicateur. L'objet que l'on devrait inclure dans l'image scientifique serait donc, selon Dawkins, le réplicateur (dans la plupart des cas le gène) et non l'interacteur (dans la plupart des cas l'organisme). On voit donc, avec l'exemple de Dawkins, qu'il y a différentes façons d'exemplifier ontologiquement la structure appropriée à la TESN, ce qui explique la persistance de nombreux débats à ce propos. Quoi qu'il en soit, retenons qu'il est possible de dériver par différentes voies des entités biologiques fondamentales à partir de la TESN, ce qui correspond bien à la définition du mode théorique donnée dans la section 3.1.1.

Si l'on voulait illustrer le mode théorique par d'autres exemples biologiques, nous pourrions nous intéresser au domaine émergent de la biologie des systèmes pourrait néanmoins changer la donne. Dans ce domaine qui regroupe beaucoup d'approches différentes, on peut distinguer une tendance qu'O'Malley et Dupré (2005) appellent « systems theoretic biology » et qui vise à la formulation de théories formalisées et générales sur les systèmes biologiques. En cela, elle reprend certaines ambitions de la théorie générale des systèmes et de la cybernétique. Un des objectifs de ce mouvement est de parvenir à une théorie précise et générale de la robustesse des systèmes biologiques. L'idée est que certains principes architecturaux seraient nécessaires pour qu'un système complexe puisse évoluer en étant robuste (Kitano 2004). C'est donc à la mise en évidence de tels principes que travaille une partie de la biologie des systèmes. Il est clair que si ce projet scientifique aboutissait, on disposerait de nouvelles théories structurelles pour parvenir aux objets biologiques.

## **3.2 Le mode expérimental**

### **3.2.1 La relative autonomie de l'expérience par rapport aux théories**

Le mode expérimental consiste à identifier des objets à partir des résultats de multiples manipulations expérimentales et de leur interprétation. De façon plus précise, ce mode consiste à réifier un ensemble structuré de propriétés relativement stables découvertes et retrouvées à travers une succession d'expériences distinctes. Par exemple, on est parvenu à identifier à travers une suite d'expériences distinctes l'objet électron, en l'identifiant comme 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 important dans la constitution de l'image scientifique revient

à s'inscrire en faux contre des positions donnant aux théories une place exclusive dans la description du monde et donnant à l'expérience le seul rôle de falsifier ou de confirmer les théories et leur contenu scientifique<sup>23</sup>. Notre but n'est pas ici de réévaluer le rôle clef de l'expérience, ce qui a déjà été fait en partie par des historiens des sciences<sup>24</sup>, mais seulement de montrer qu'il est légitime d'utiliser l'expérience pour créer notre image du monde. Examinons rapidement les arguments principaux en faveur de cette thèse.

- Nous pouvons d'abord remarquer à la suite de Hacking ou Galison que, d'une façon générale, les expériences possèdent « de nombreuses vies qui leur sont propres » (Hacking, 1983, 165), c'est-à-dire qu'elle possède une certaine autonomie par rapport aux théories, qui lui vient de l'indépendance de ses procédures, de l'existence de nombreuses lois expérimentales en attente de théories, du développement indépendant des appareils de mesure, etc. (voir Hacking, 1983, chap.9 pour le détail de ces arguments).

- On peut également noter que, même dans un domaine dans lequel 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 très nombreux cas, il est besoin de modèles qui servent de médiateurs (Morgan et Morrison 1999) entre l'expérience et la théorie, ce qui atteste de l'autonomie au moins partielle de l'expérience.

- La relative indépendance des procédures est notamment à l'œuvre 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 une entité également mentionnée et décrite par nos théories. La connaissance que nous avons de cette entité est largement théorique. Mais la calibration de nos appareils et l'établissement des propriétés des électrons dans des situations complexes sont en général des opérations qui sont 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 identifiées expérimentalement sont ainsi plus résistantes au changement historique que leur image théorique correspondante. Comme le défend Peter Galison (1987, 259, notre traduction) : « 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 les sont en désaccord. »<sup>25</sup> En d'autres mots, les résultats expérimentaux sont relativement robustes par rapport aux changements théoriques.

### 3.2.2 Quels critères d'objectivation dans le mode expérimental ?

<sup>23</sup> L'une des références classiques défendant l'autonomie relative de l'expérience est (Hacking 1983).

<sup>24</sup> Par exemple voir (Daston et Galison 1992) à propos de l'objectivité expérimentale ou (Galison 1987) sur l'autonomie relative des procédures expérimentales.

<sup>25</sup> « Experimental conclusions have a stubbornness not easily canceled by theory change. And it is this solidity in the face of altering conditions that impresses the experimenters themselves – even when theorists dissent. »

Le fait de devoir insérer dans l'image scientifique du monde des entités identifiées grâce à l'expérience ne nous informe pas pour autant sur les critères spécifiques qui doivent être employés pour identifier ces objets. Pour cela, des arguments supplémentaires sont nécessaires. L'un de ces critères semble être la manipulabilité (Hacking 1983, chapitre 16)<sup>26</sup>. 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 les études de Peter Galison (1997) 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 images) 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 événements<sup>27</sup>. 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.

Les cas d'application du mode expérimental sont principalement le fait des scientifiques. Lorsque l'on se penche sur ces applications, on constate que, dans la plupart des cas, le mode expérimental amène à objectiver une entité qui participe à une chaîne causale permettant de rendre compte des expériences. On peut donc se demander si l'image scientifique issue de ce mode ne tend pas toujours vers une collection d'entités reliées les unes aux autres par un réseau de relations causales, une image qui contraste avec celle, davantage structurelle, issue du mode théorique. Nous verrons sur le cas de la particule dans le §4.1 comment un tel contraste peut se changer en conflit dans l'élaboration de l'image scientifique du monde.

### 3.2.3 Le mode expérimental en biologie moléculaire

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. Cette dernière est très largement fondée sur les techniques expérimentales et la manipulation plutôt que sur des propositions théoriques. Le biologiste moléculaire 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. Bien entendu, lorsque des mécanismes très similaires existent chez différentes espèces, un modèle général peut être proposé.

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 l'homme. On sait maintenant qu'il existe une assez grande variabilité dans le

<sup>26</sup> Hacking utilise ce critère pour défendre un réalisme des entités, en contraste avec un réalisme des théories. Nous ne souscrivons pas à sa conclusion, mais croyons tout de même à la pertinence du critère de la manipulabilité.

<sup>27</sup> 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.

mécanisme de la transcription d'une espèce à l'autre, mais qu'il est néanmoins possible de 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 entités sont définies fonctionnellement, ce schéma général est valide, bien que ses instanciations particulières puissent varier de manière importante.

Quelle est la contribution de la biologie moléculaire à l'image scientifique du monde ? Différents philosophes ont cherché à montrer qu'une part importante de la biologie (essentiellement la biologie fonctionnelle, ce cadre ne semblant pas adapté à la biologie évolutive) pouvait être conçu dans un cadre mécaniste, par exemple (Machamer et al. 2000) ou (Glennan 2005). Selon cette approche, 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, l'existence des entités est souvent confirmée par plusieurs approches expérimentales. Par exemple, un facteur de transcription est défini en partie par des analyses génétiques, mais ses propriétés sont aussi 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. Ce serait donc la convergence de plusieurs approches expérimentales qui nous donnerait nos objets dans le cadre de la biologie moléculaire. Marcel Weber (2004, 286) a défendu cette idée, en insistant toutefois sur le fait que la fiabilité de chaque technique doit avoir été établie, afin d'éviter que la convergence puisse être due à un artefact expérimental. Il est cependant à noter qu'en pratique, le critère de convergence des résultats obtenus à l'aide d'une nouvelle technique avec ceux obtenus à l'aide des anciennes est souvent considéré comme un fort indice de fiabilité, à défaut d'être une preuve. Il faut donc insister sur l'idée que les modèles de la biologie moléculaire sont toujours issus d'un processus constant de comparaison avec les résultats expérimentaux et que, contrairement à la physique, très 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 identifier les objets susceptibles de faire partie de l'image que l'on peut dériver de la biologie moléculaire.

L'identification claire des modes d'objectivation à laquelle nous avons procédé dans cette section présentent un double intérêt philosophique. Cela permet d'abord de clarifier, dans un cadre non nécessairement réaliste, la façon dont est produite l'image scientifique du monde et ce qu'est son contenu, ce qui est un travail philosophique important à la fois pour la philosophie des sciences et dans tous les cas (discussion politique, discussion éthique) où on a besoin de prendre acte de ce que dit la science du monde. De plus, les modes nous permettent de mieux saisir les aspects communs des discussions sur ce que sont les « bons » objets à travers les différentes disciplines scientifiques. Par exemple, comprendre que les discussions sur 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 aspect important de notre démonstration.

## 4 Conflits dans l'élaboration de l'image scientifique : les cas de la particule et de l'individu biologique

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 de 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 peuvent être considérés individuellement comme fiables. Dans cette section, nous montrons que de telles situations existent. Nous présentons pour cela des objectivations faites à partir de modes différents et montrons comment elles entrent en conflit. Dans l'image du monde que le philosophe espère tirer de la science, il serait en effet inacceptable qu'un même domaine de réalité soit représenté par des objets incompatibles. Cette possibilité peut néanmoins survenir dans deux cas : 1) quand deux disciplines scientifiques s'intéressent au même domaine et engendrent des images partielles incompatibles ; 2) 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. À l'heure actuelle, la première possibilité ne semble pas présente entre la physique et la biologie, sauf peut-être dans certains domaines de la chimie du vivant qui resteraient à étudier plus en détail. En revanche, la deuxième possibilité 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.

### 4.1 Un conflit en physique

Nous avons choisi le cas de la particule comme illustration d'un conflit entre modes en physique<sup>28</sup>. Cette entité est souvent incluse dans l'image scientifique que soutiennent de nombreux philosophes. Elle est donc particulièrement appropriée en vue d'une discussion sur les problèmes que peuvent 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 à militer pour leur inclusion.

#### 4.1.1 La particule : mode théorique

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)<sup>29</sup>. C'est dans ce cadre que s'insèrent les modèles particuliers (comme le modèle standard) qui 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<sup>30</sup>. Les implications métaphysiques de cette théorie sont loin d'avoir toutes été clarifiées. Dans les modèles de TQC, on quantifie (*quantize*)<sup>31</sup> des théories de champs

<sup>28</sup> Cette sous-section reprend plusieurs arguments de (Guay 2007).

<sup>29</sup> 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.

<sup>30</sup> Pour une introduction aux difficultés philosophiques spécifiques à la théorie quantique des champs, voir (Redhead 1982).

<sup>31</sup> Dans ce contexte, un processus de quantification est une série de règles formelles qui, appliquées à une théorie classique, nous permet d'obtenir une théorie quantique décrivant le même domaine physique.

classiques, autrement dit des théories où les objets sont des champs, c'est-à-dire des attributions de propriétés en chaque point de l'espace-temps, propriétés qui varient de façon continue. 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 Redhead (1988), une théorie de champs peut très bien avoir toutes les conséquences empiriques (et donc les apparences) d'une théorie de particules. Une description en termes de champs permet en effet d'obtenir des représentations reproduisant le phénomène de localisation des particules. Il suffit pour cela que le champ soit parcouru par des ondes solitaires, suffisamment compactes, qui se propagent sans se déformer (des solitons). Bien sûr, certaines propriétés des supposées particules peuvent ne plus être retrouvées à partir d'une telle représentation, comme par exemple une stricte non interpénétrabilité. Néanmoins il se peut que la vérification empirique rigoureuse de telles propriétés soit impossible en pratique. 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 peut-être, 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 du monde. Ces arguments prennent en général la forme de théorèmes. Par exemple, Malament et Hegerfeldt (voir Halvorson et Clifton 2002 pour une vue d'ensemble) proposent un argument fondé, entre autres, sur la prémisse : l'énergie de tout système a une borne inférieure. 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 à une ontologie de particules.

#### 4.1.2 La particule: mode expérimental

À la lumière de la sous-section précédente, on est en droit de douter de la possibilité de justifier une ontologie de particules. Cependant, une étude fine de la microphysique expérimentale montre que les choses ne sont pas aussi simples. À son apogée, l'approche homomorphique, identifiée par Galison (1997), a produit des images 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, 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 80, 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 identifier. 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.

#### 4.1.3 Trois possibilités pour sortir du conflit à propos de la particule

Face à cette apparente incohérence ontologique entre 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.

- Le conflit pourrait avoir pour source le fait même de vouloir identifier une image à partir des théories. Par exemple, pour un instrumentaliste radical, le conflit est dissous si on considère que les théories physiques ne réfèrent pas à des objets. Dans ce cas, le problème de la particule serait une illusion. Ainsi, si la théorie réfère à des processus, à des actions ou à des connaissances, le conflit pourrait n'être qu'apparent et la discussion serait close.

- Si l'on considère que la théorie a tout de même quelque chose à dire sur le contenu de l'image du monde, alors une désubstantialisation de la physique semble nécessaire. L'expérimentateur n'identifierait pas des objets 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 objets de moyenne grandeur (chaises, planètes, particules, etc.), obtenue par exemple à partir de la mécanique classique, peut nous pousser à croire que nous devons inclure dans l'image des objets localisés, la mécanique quantique, qui ne réfère pas à des objets localisés, nous obligerait à réviser cette croyance et à considérer que ces objets localisés ne font en fait pas partie de l'image scientifique du monde. Dans cette option, on reconnaît donc que le conflit ne peut être dissous et on tranche en fonction du mode théorique.

- 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'objets à partir d'images expérimentales (c'est-à-dire l'utilisation d'une approche homomorphique) est problématique. Dans ce cas, on accorde que l'expérimentateur peut identifier des particuliers, mais on reste sceptique quand il propose que ces particuliers sont 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 qui, sont *projetés* sur les résultats expérimentaux et permettent de les interpréter aisément. Néanmoins, selon cette solution, le renoncement à notre conception naïve de l'expérimentation (via cette démarche homomorphique) est une des conséquences 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. Et pourtant, 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 réellement une légitimité et sont réellement indépendants.

## 4.2 Un conflit en biologie

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 monde<sup>32</sup>. D'un côté, une certaine interprétation de la théorie de l'évolution par sélection naturelle (mais non 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. Cette interprétation, dite « interprétation génique de l'évolution », dont le représentant le plus influent est Richard Dawkins, est analysée ci-dessous. D'un autre côté, la biologie expérimentale penche en faveur de son inclusion. Dans cette section, nous expliquons les termes du conflit et montrons qu'il illustre parfaitement à la fois l'utilité des modes d'objectivation et les possibles tensions entre eux.

### 4.2.1. Mode théorique : l'exclusion de l'organisme

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 (1992) montre que l'on ne saurait se satisfaire de cette réponse de sens commun. Par exemple, dans un organisme colonial, comme les formes coloniales d'urochordés, qu'est-ce qui compte 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'individuer les organismes s'avère imprécise, et trop fortement dépendante de notre appareil perceptif et de notre taille (Hull 1992). 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 partie infime des êtres vivants.

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. En affirmant cela, Hull radicalise ce que nous avons dit ici : 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

---

<sup>32</sup> Cette section reprend plusieurs analyses de Pradeu (soumis).

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 (ou objet). Or, selon (Hull 1992), une seule théorie biologique est suffisamment générale et structurée pour permettre l'individuation des êtres vivants, à savoir la TESN<sup>33</sup>. Un individu biologique serait donc un « individu évolutionnaire », c'est-à-dire un être vivant tel qu'il est individué par la sélection naturelle, c'est-à-dire encore ce que l'on appelle une « unité de sélection ». Une partie importante du travail de Hull a de fait consisté à dire ce qu'est un individu biologique, et plus généralement à décrire et à clarifier la métaphysique de l'évolution (Hull 1981).

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 objet 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 la démonstration 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 ce qui, dans le réel, constitue une unité de sélection ? Plusieurs réponses à cette question ont été avancées<sup>34</sup>. 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 gènes (Dawkins 1982, 91). 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 ? ».

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 » (Dawkins 1976, 34).

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 n'est pas un objet scientifiquement fondé (puisqu'il n'est pas 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

<sup>33</sup> Pour une position opposée, selon laquelle on peut partir par exemple d'une théorie comme l'immunologie, voir Pradeu (2008).

<sup>34</sup> La question des unités de sélection est probablement la plus discutée de toute la philosophie de la biologie (Brandon and Burian 1984).

individuel qui a été sa prison conceptuelle » (Dawkins 1982)<sup>35</sup>.

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.

#### 4.2.2. Le mode expérimental : l'inclusion de l'organisme

L'utilisation du mode expérimental, au contraire de l'application que fait Dawkins du mode théorique, amène au contraire 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 considère 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 souligne que, comme l'avait vu (Mayr 1961), 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 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'explicitier 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, ce qui ne veut pas dire que la biologie expérimentale se réduit à la biologie fonctionnelle : au contraire, la biologie expérimentale joue aussi un rôle important en biologie de l'évolution. 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.

La biologie fonctionnelle cherche à travailler sur un objet stable, le plus invariant possible à travers les différentes manières possibles de l'étudier. Comme l'a montré Wimsatt (1972), le concept clé est alors celui de *robustesse* : un objet est « robuste » lorsqu'on peut le connaître de plusieurs manières indépendantes. Ce concept de robustesse en biologie inclut le concept de manipulabilité expérimentale avancé par Hacking (1983), mais ne s'y réduit pas (Wimsatt 1994). Or, comme Wimsatt, là encore, l'a bien montré, les objets les plus robustes de la biologie expérimentale sont les *mécanismes*, c'est-à-dire des interactions entre des

---

<sup>35</sup> Dans ce livre, Dawkins emploie l'image du cube de Necker pour dire que la vision génique est au moins aussi valide que la vision organismique de l'évolution, mais dans sa préface à l'édition de 1989 de Dawkins (1976), il revient sur cette image, en affirmant qu'elle donne l'impression fautive que les deux visions se valent, alors que selon lui la vision génique est très nettement supérieure. Elle est, en d'autres termes, la « bonne » image du monde pour qui s'intéresse au vivant.

constituants produisant régulièrement les mêmes résultats. Certains mécanismes se comprennent 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, Goldstein (1951) a montré que l'on ne pouvait comprendre un phénomène en apparence local comme le réflexe qu'au niveau de l'organisme pris comme un tout<sup>36</sup>. Le système nerveux doit lui-même être étudié comme un tout (un « réseau »), qui interagit avec d'autres systèmes, le système endocrinien en particulier. L'objet « robuste » est donc, pour le 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. De même, Robert Richardson (2000) a bien montré comment, en biologie du développement, le véritable objet était l'organisme pris comme un tout, car les sous-systèmes étudiés par le biologiste (comme les « modules » par exemple) ne prennent sens qu'au niveau du contexte d'ensemble de l'organisme.

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 (Machamer et al. 2000, 13; Bechtel 2005, 42), 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. Comme je l'ai souligné à de nombreuses reprises, 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. »<sup>37</sup> Cette thèse rejoint en outre clairement l'interprétation systémique des fonctions biologiques, proposée par Cummins<sup>38</sup>.

Qu'en est-il, à présent, de la biologie *évolutionnaire* 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 Mayr et Stephen Gould (2002), mais aussi à Patrick Bateson (2005). Par exemple, Mayr (1963) 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 (Mayr 2006) 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 sont le résultat d'une telle évolution, non sa cause » et que « de Darwin à aujourd'hui, la plupart des évolutionnistes ont considéré l'organisme individuel comme l'objet principal de la sélection ». Ainsi, quoi qu'en

<sup>36</sup> 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 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.

<sup>37</sup> « From Molecules to Organic Diversity » dans (Mayr 1976: 70). (*Notre traduction*).

<sup>38</sup> « The biologically significant capacities of an entire organism are explained by analyzing the organism into a number of « systems » - the circulatory system, the digestive system, the nervous system, etc. - each of which has its characteristic capacities. These capacities are in turn analyzed into capacities of component organs and structures ». (Cummins 1975, 760-761).

dise l'interprétation génique de la TESN, les biologistes expérimentaux affirment que l'organisme est un objet fondamental de l'image scientifique du monde, et ils retrouvent donc à leur manière le mot de Jean Rostand, cité par F. Jacob (1981) : « Les théories passent. La grenouille reste » (*Carnets d'un biologiste*). L'application du mode expérimental (à la fois dans la biologie fonctionnelle et dans la biologie de l'évolution) entre donc clairement en conflit avec une application du mode théorique, c'est-à-dire une interprétation (très répandue) de la TESN.

## 5. Conclusion

Lorsque l'on réfléchit à la question de l'image du monde, on pense souvent que le point 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 bien plus 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 (et non pas une seule source constituée par les théories, comme beaucoup de philosophes l'ont soutenu). 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 (comprise ici comme ce qui justifie qu'on puisse considérer un X comme un objet légitime) 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 y en a peut-être d'autres. De même, une recension des différents critères ou arguments qui permettent de produire une objectivation à partir du mode expérimental permettrait de raffiner 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 de l'objectivité) sont par nature très différents. La manière dont ces arguments sont comparés, s'affrontent et éventuellement s'imposent lors du processus d'objectivation mériterait d'être analysée plus en profondeur. Il faudrait enfin déterminer si d'ordinaire les modes convergent sans problème et si le type de conflit que nous avons décrit peut être considéré comme général. Nos exemples semblent suggérer qu'en physique, le mode théorique domine, alors qu'en biologie, ce serait plutôt le contraire – même si une véritable réflexion théorique existe en biologie et ne doit pas être sous-estimée. Cela reste à confirmer par une étude détaillée de la façon dont on peut sortir des situations de conflits.

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 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.

## Références

- Bateson, Patrick. 2005. « The return of the whole organism », *J. Biosci.* 30(1), 31-39.
- Bechtel, William. 2005. *Discovering Cell Mechanisms*. Cambridge University Press.
- Brandon, Robert. 1988. « The Levels of Selection: A Hierarchy of Interactors » dans *The Role of Behavior in Evolution*, édité par H. Plotkin, 51-71. MIT Press.
- Brandon R. and R. Burian. 1984. *Genes, Organisms and Populations. Controversies over the units of selection*, MIT Press.
- Bub, Jeffrey. 1997. *Interpreting the Quantum World*. Cambridge University Press.
- Cat, Jordi, 2007, « The Unity of Science », *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Cummins, Robert. 1975. « Functional Analysis » *The Journal of Philosophy* 72(20):741-765.
- Daston, Lorraine et Peter Galison. 1992. « The image of objectivity » *Representations* 40:81-128.
- Dawkins, Richard. 1976. *The Selfish Gene*. Oxford University Press. Traduction française Le Gène égoïste, Paris, Odile Jacob, 2003.
- Dawkins, Richard. 1982. *Extended Phenotype*. Oxford University Press.
- Earman, John. 1989. *World Enough and Space-Time*. MIT Press.
- Eddington, Arthur, 2005. *The Nature of the Physical World*. Kessinger Publishing (1929 pour l'édition originale).
- Galison, Peter. 1987. *How Experiments End*. The University of Chicago Press.
- Galison, Peter. 1997. *Image and Logic*. The University of Chicago Press.
- Glennan, S. 2005. « Modeling Mechanisms » *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36: 443-464.
- Godfrey-Smith, Peter. 2001. « On the status and explanatory structure of developmental systems theory » dans *Cycles of contingency : developmental systems and evolution*, édité par S. Oyama, P.E. Griffiths et R.D. Gray, 283-197. MIT Press.
- Godfrey-Smith, Peter. 2006. « The strategy of model-based science » *Biology and Philosophy* 21:725-740.
- Goldstein, Kurt. 1951. *La Structure de l'organisme*, Paris, Gallimard (1934 pour l'édition originale).
- Gould, Stephen Jay. 2002. *The Structure of Evolutionary Theory*. Harvard University Press.
- Griffiths, Paul E. et Karola Stotz. 2007. « Gene » dans *The Cambridge Companion to the Philosophy of Biology*, édité par D. L. Hull and M. Ruse, 85-102. Cambridge University Press.
- Guay, Alexandre. 2007. « Appareil, image et particule » dans *Appareil et Intermédialité*, édité par J.-L. Déotte, M. Froger et S. Mariniello, 97-120. Éditions de l'Harmattan.
- Hacking, Ian. 1983. *Representing and Intervening*. Cambridge University Press.
- Halvorson, Hans et Rob Clifton. 2002. « No Place for Particles in Relativistic Quantum Theories » *Philosophy of Science* 69: 1-28.
- Harré, R. 1970. *The Principles of Scientific Thinking*. The University of Chicago Press.
- Hull, David L. 1980. « Individuality and Selection » *Annual Review of Ecology and Systematics*

- 11: 311-332.
- Hull, David. 1981. « Units of Evolution : A Metaphysical Essay », dans *Genes, Organisms and Populations. Controversies over the units of selection*, édité par R. N. Brandon et R. M. Burian. MIT Press.
- Hull, David. 1992. « Individual », dans *Keywords in Evolutionary Biology*, édité par E. F. Keller and E. Lloyd. Harvard University Press.
- Jacob, François. 1981. *Le Jeu des possibles*. Fayard.
- Kitano, Hiroaki. 2004. « Biological Robustness » *Nature Review Genetics* 5: 826-837.
- Kitcher, Philip. 1984. « 1953 and All That. A Tale of Two Sciences » *The Philosophical Review* 93:335-373.
- Krips, Henry. 1987. *The Metaphysic of Quantum Theory*. Oxford University Press.
- Lewontin R. 1970. « The Units of selection » *Annual Review of Ecology and Systematics* 1: 1-18.
- Machamer, P., L. Darden and C.F. Craver. 2000. « Thinking About Mechanism » *Philosophy of Science* 67(1): 1-25.
- Mayr, Ernst. 1961. « Cause and effect in biology » *Science* 134(3489):1501-1506.
- Mayr, Ernst. 1963. *Animal Species and Evolution*. Harvard University Press.
- Mayr, Ernst. 1976. *Evolution and the Diversity of Life*. Harvard University Press.
- Mayr, Ernst. 2006. *Après Darwin. La biologie, une science pas comme les autres*. Dunod. (2004 pour l'édition originale).
- Mermin, N. David. 1998. « What is quantum mechanics trying to tell us? », *American Journal of Physics*, 66(9): 753-767.
- Morgan, Mary et Morrison, Margaret (éd.). 1999. *Models as Mediators*. Cambridge University Press.
- Nagel, E. 1961. *The Structure of Science*. Routledge and Kegan Paul.
- Nickles, T. 1973. « Two concepts of intertheoretic reduction. » *The Journal of Philosophy* 70(7): 181-201.
- O'Malley, Maureen A. et John Dupré. 2005. « Fundamental Issues in Systems Biology » *BioEssays*, 27: 1270-1276.
- Pradeu, Thomas (2008), « What is an organism ? », soumis.
- Quine, W.V.O. 2003. *Du point de vue logique*. J. Vrin. Traduit de l'anglais sous la direction de Sandra Laugier.
- Redhead, Michael. 1988. « A philosopher looks at quantum field theory » dans *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*, édité par Harvey R. Brown et Rom Harré, 9-23. Oxford University Press.
- Redhead, Michael L.G. 1982. « Quantum Field Theory for Philosophers » *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2: 57-99.
- Richardson, Robert. 2000. « The Organism in Development » *Philosophy of Science* (Supplement), 67:S312-S321.



- Ridley M. 2004. *Evolution*. 3<sup>e</sup> édition. Blackwell.
- Sellars, Wilfrid. 1963. *Science, Perception and Reality*. Routledge.
- Sklar, L. 1967. « Types of inter-theoretic reduction » *The British Journal for the Philosophy of Science* 18: 109-124.
- Sterelny, Kim et Paul E. Griffiths. 1999. *Sex and Death*. University of Chicago Press.
- Van Fraassen, B.C. 1980. *The Scientific Image*. Oxford University Press.
- Van Fraassen, Bas C. 2006. « Structure : Its Shadow and Substance » *The British Journal for the Philosophy of Science* 57: 275-307.
- Weber, Marcel. 2004. *Philosophy of Experimental Biology*. Cambridge University Press.
- Weyl, Hermann. 1952. *Symmetry*. Princeton University Press.
- Wimsatt, William. 1972. « Complexity and Organization » *PSA, Proceedings of the Philosophy of Science Association*, édité par K. F. Schaffner et R. S. Cohen, 1972:67-86.
- Wimsatt, William. 1994. « 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* 20:207-274.
- Zahar, Elie. 2002. *Poincaré's Philosophy: From Conventionalism to Phenomenology*. Carus Publishing.