

Université de Liège
Faculté de Philosophie et Lettres
Département de Philosophie

Un monde idéal

Exploration épistémologique des représentations scientifiques



Travail de fin d'études réalisé sous la supervision de Laurence Bouquiaux et Yacin Hamami, et présenté par Louis Halflants en vue de l'obtention du grade de Master en
Philosophie à finalité approfondie
Lecteur : Arnaud Dewalque

Année académique 2023-2024

Je pense que la science est d'une grande beauté. Un scientifique dans son laboratoire n'est pas seulement un technicien : il est aussi un enfant placé devant des phénomènes naturels qui l'impressionnent comme un conte de fées.

— Marie Curie

La science n'est pas censée nous guérir du mystère, mais le réinventer et le revigorer.

— Robert Sapolsky

Remerciements

J'aime l'idée que nous ne sommes pas ce que j'appelle des *îlots épistémiques*, des individus épistémiquement isolés et dont les connaissances et compétences ne dépendent de rien d'autre que d'eux-mêmes. Je trouve plaisant de savoir que mes connaissances sont le fruit d'un long travail intellectuel collectif, et que lorsque j'écris mes travaux, je les dois en partie à d'autres avec qui j'ai pu échanger, discuter, réfléchir, croire, savoir. Pour ces raisons, je me dois de remercier toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin, ont pu contribuer à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie tout d'abord ma promotrice, Laurence Bouquiaux, et mon promoteur, Yacin Hamami, de m'avoir épaulé et conseillé durant toutes mes recherches et ma rédaction, contribuant de façon cruciale à la qualité de ce mémoire et à mon intérêt pour son sujet.

Je remercie ensuite mes camarades de bachelier et de master en philosophie, qui, tout au long de mes cinq années d'études, ont enrichi ma pensée et ma vie, m'accordant des amitiés qui, je l'espère, dureront encore longtemps. En particulier, je remercie Quentin Hosch et Odile Keller, pour leurs retours sur certaines de mes premières versions des différentes parties de ce mémoire.

Je remercie également ceux de mes ami·e·s qui m'ont offert des moments d'amusement et de détente, ce qui est indispensable, je pense, à la réalisation d'un travail de qualité : ce sont notamment les membres de la Chaîne Thermale, les Soyeux, et l'URSSEB.

Je remercie enfin mes parents, qui m'ont toujours soutenu, et dont la maison fut un havre de paix et de repos dans les moments où c'était nécessaire.

Table des matières

Introduction	1
1. Les représentations et les modèles	2
1.1. Les représentations	2
1.2. Les modèles	3
1.3. La dimension représentationnelle des modèles	4
2. Deux raisons de l'émergence de l'étude des représentations scientifiques	6
2.1. La conception sémantique des théories scientifiques	6
2.2. Le paradoxe épistémologique des représentations scientifiques	7
2.2.1. Première proposition : la nature de la connaissance	9
2.2.2. Deuxième proposition : la puissance épistémique des sciences	11
2.2.3. Troisième proposition : ce qu'impliquent les représentations	11
2.2.4. La nature de la justification des trois propositions	14
3. Contenu et structure de ce mémoire	15
3.1. Postulats et enjeux	15
3.2. Structure du mémoire	16
Partie 1 : Un état de l'art	18
1. <i>Les problèmes de la représentation scientifique</i>	19
2. Un problème ? Quel problème ? La conception de Callender et Cohen	25
2.1. Le gricéanisme général	25
2.2. La condition de stipulation	26
2.3. Le retour des problèmes	28
3. La conception par similarité : anatomie d'une chute	29
3.1. Une première formulation naïve	29
3.2. La conception par similarité pertinente	32
3.3. La conception intentionnelle	34
4. La conception structuraliste, entre mathématiques et sciences	39
4.1. Une conception pleine d'héritages	39
4.2. Le structuralisme par isomorphisme	40
4.3. Le structuralisme sophistiqué	43
5. La conception inférentielle : dégonfler la notion de représentation	44
5.1. Rester en surface	44
5.2. La conception inférentielle	46

5.3. La conception interprétative : avec Suárez, mais contre le déflationnisme	50
6. La conception fictionnelle : quand la science fait « comme si ».....	51
6.1. La conception fictionnelle directe de Toon	51
6.1.1. Les conceptions directes et indirectes.....	51
6.1.2. La théorie du faire-comme-si de Walton : un jeu d'enfant.....	53
6.1.3. Des fictions aux modèles scientifiques	54
6.1.4. Les forces de la conception fictionnelle.....	55
6.1.5. Le coût ontologique et la possibilité de raisonnement inférentiel	58
6.2. Une autre utilisation de la fiction : le statut ontologique des modèles.....	59
7. La conception DDI : les modèles sont des outils	61
7.1. La dénotation.....	61
7.2. La démonstration.....	62
7.3. L'interprétation.....	63
7.4. Les avantages de la conception DDI	63
7.5. Une conception qui s'arrête trop tôt	64
8. Conclusion.....	66
Partie 2 : la <i>representation as</i> et la conception DEKI	67
1. Elgin et la <i>representation as</i>	68
1.1. Que faire des idéalizations ?	68
1.2. Deux manières de représenter	70
1.2.1. Les représentations de p	71
1.2.2. Les p -représentations	72
1.3. Les p -représentations de q : représenter q en tant que p	73
1.4. La notion d'exemplification	75
1.5. La réponse d'Elgin au problème de la représentation	80
1.6. Le point fort de la conception d'Elgin : expliquer les idéalizations.....	80
1.6.1. Les multiples façons d'exemplifier et la valeur des écarts	80
1.6.2. Les modèles « dépassés »	84
1.7. Le problème de la démarcation	87
1.8. Les autres problèmes et caractéristiques	88
1.9. Des aspects à peaufiner	89
1.9.1. Qu'instancient les représentations ?.....	89
1.9.2. Identifier une p -représentation	90

1.9.3. L'imputation	91
2. La conception DEKI	92
2.1. Comment créer une Z -représentation ?.....	92
2.2. Exemplifier des caractéristiques de Z	95
2.3. De l'exemplification à l'imputation	96
2.4. La conception enfin complète	97
2.5. Les problèmes et caractéristiques, et quelques remarques	98
2.6. Une rapide étude de cas : le modèle des gaz parfaits	99
2.7. Une discussion récente : la conception DEKI et la justification	102
2.7.1. La carte de Susan	102
2.7.2. La dénotation dans la conception DEKI	103
2.7.3. Le cœur du problème : l'interprétation	105
Conclusion	110
Bibliographie.....	114

Introduction

Les résultats théoriques des sciences contemporaines figurent parmi les plus grands accomplissements épistémiques de l'humanité. Que ce soit dans les sciences de la matière, celles de la vie, ou dans les sciences humaines et sociales, les outils et résultats scientifiques nous permettent de connaître et comprendre toujours mieux et plus la réalité dans laquelle nous évoluons. Pour cette raison, un des objectifs de la philosophie des sciences est de comprendre ce qui, dans les sciences, leur permet d'atteindre cet objectif. Quels outils utilisent les scientifiques et quelles qualités épistémiques possèdent ces outils pour leur permettre ainsi de découvrir des galaxies, de prédire le comportement de populations, ou encore de connaître les effets d'une molécule sur un organisme ? La réponse à cette question est loin d'être triviale et fait l'objet d'une recherche de plus en plus importante dans le domaine de la philosophie qu'on appelle l'épistémologie des sciences.

1. Les représentations et les modèles

1.1. Les représentations

En particulier, un sujet qui a pris exponentiellement de l'importance ces dernières dizaines d'années en épistémologie des sciences est celui des représentations scientifiques¹. De quel sens de représentation parle-t-on dans ce contexte ? La notion de représentation est assez floue et polysémique, une rapide caractérisation est donc nécessaire. Les représentations scientifiques font partie des représentations dont le mode de représentation est de l'ordre de la dénotation, c'est-à-dire qu'une représentation scientifique possède (ou semble posséder) une cible à laquelle elle fait référence, qu'elle dénote². Typiquement, cette cible est un objet ou un phénomène du monde réel dont une représentation scientifique donnée est la représentation³. Elle représente cette cible dans le même sens qu'une image de hamster représente un hamster, ou qu'une carte de la Belgique représente la Belgique, mais pas dans le même sens qu'une politicienne élue au parlement représente les citoyen·ne·s qui l'ont élue, ou que la pensée du Colisée représente le Colisée. Dans le cas de l'image et de la carte, nous dirions qu'elles dénotent respectivement un hamster et la Belgique, alors que dans le cas de la politicienne ou

¹ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, vol. 5, n° 1, 2010, p. 91.

² Catherine Z. ELGIN, *True enough*, Cambridge (Mass.), the MIT press, 2017, p. 249. Nous verrons que la plupart des conceptions de la représentation prennent la dénotation ou une caractéristique équivalente comme nécessaire à la représentation, mais il est utile de noter dès maintenant qu'il existe au moins une exception parmi les conceptions que je discuterai : la conception fictionnelle (section 6 de la première partie de ce mémoire).

³ Cette rapide caractérisation n'est pas une définition, mon objectif ici est uniquement de faire comprendre les situations auxquelles il faudra penser parmi celles où nous disons que quelque chose représente autre chose. Nous verrons et évaluerons différentes définitions plus précises de la notion de représentation en général, et de celle de représentation scientifique en particulier, tout au long de ce mémoire.

de la pensée, nous ne dirions pas aussi aisément qu'elles dénotent respectivement des citoyen·ne·s ou le Colisée, en tout cas *a priori* pas dans le même sens⁴.

Les représentations comme les représentations scientifiques, les images de hamster, ou les cartes de la Belgique sont ce que nous pouvons appeler des *représentations épistémiques* : elles sont capables de nous donner un accès épistémique à leur cible, de nous fournir des informations à son sujet (ou du moins cherchent à en être capable). Dans ce travail, lorsque je parlerai de représentation sans précision supplémentaire, il faudra toujours le comprendre dans ce sens de représentation épistémique. Les conceptions de la représentation que je présenterai et analyserai seront donc toujours des conceptions de la représentation épistémique en général (ou, si précisé, de la représentation scientifique en particulier).

Des modèles climatiques aux représentations des atomes, en passant par les cartes des géographes et les simulations des économistes, les sciences sont donc remplies de représentations. Dans la mesure où les scientifiques les utilisent énormément pour mener leurs recherches et développer nos connaissances, il semble indispensable pour toute épistémologie des sciences de chercher à comprendre leur fonctionnement. En outre, l'attention grandissante portée aux représentations scientifiques par la philosophie est aussi liée à l'intérêt de plus en plus important des philosophes sur la centralité des modèles et de l'acte de modélisation dans les sciences⁵.

1.2. Les modèles

Il est complexe de définir de façon satisfaisante la notion de modèle scientifique en peu de mots. Comme Nelson Goodman le souligne, peu de termes sont utilisés avec autant de légèreté que « modèle »⁶. Ce mémoire portant sur les représentations et non sur les modèles, je me contenterai d'une caractérisation générale et d'exemples⁷, avant de m'attarder plus en détail

⁴ Concernant le cas de la pensée du Colisée, certaines théories de la représentation mentale l'expliquent sur le modèle de la représentation épistémique. Pour une analyse de la notion de représentation mentale en philosophie de l'esprit, voir notamment Quentin HOSCH, *Phénoménologie de la représentation : La représentation mentale comme fondement de l'expérience consciente chez Brentano et Husserl*, Mémoire de master, Université de Liège, Liège, 2024. À l'inverse, certaines théories de la représentation épistémique expliquent cette dernière sur le modèle de la représentation mentale. Je reviendrai plus en détail sur ce second cas de figure dans la section 2 de la première partie de ce mémoire.

⁵ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter 2021, Stanford, Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2021, sect. 0, URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/scientific-representation/>.

⁶ Nelson GOODMAN, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, 2^e éd., Indianapolis, Hackett Publishing Company, Inc., 1981, p. 171.

⁷ Pour un panorama des différentes conceptions de la notion de modèle scientifique, voir notamment ces deux références : Roman FRIGG, Stephan HARTMANN, article « Models in Science » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Spring 2020, Stanford, Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2020, URL: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/models-science/> ; Axel GELFERT,

sur la dimension représentationnelle des modèles. Les modèles scientifiques sont des représentations, généralement partielles ou locales, de phénomènes ou objets du monde réel que les scientifiques produisent dans le but de comprendre ces phénomènes ou objets, en souligner certaines caractéristiques, en expliquer le comportement, le prédire, etc. Ils peuvent être concrets, comme un modèle réduit de pont, ou abstraits, comme le modèle des gaz parfaits. Ils intègrent souvent des lois scientifiques, ou sont conçus pour en suivre, et sont, la plupart du temps, limités dans leur champ d'application. On peut penser au modèle astronomique de Copernic, au modèle du pendule simple, au modèle proie-prédateur de Lotka-Volterra, au modèle hydraulique de la baie de San Francisco, aux modèles de circulation générale en climatologie, ou encore aux modèles basés sur les agents des sciences sociales.

1.3. La dimension représentationnelle des modèles

Concernant les liens qu'entretiennent les notions de représentation scientifique et de modèle, je n'affirme pas que ces deux notions se recouvrent entièrement, ou que les modèles sont les seules unités représentationnelles des sciences. Premièrement, il n'est pas évident que toutes les représentations scientifiques sont des modèles : certaines lois scientifiques peuvent être envisagées comme des représentations (elles ciblent un ensemble de phénomènes et en représentent le comportement *via*, par exemple, une équation mathématique), sans pour autant être des modèles (elles peuvent faire partie d'un modèle, ou on peut construire des modèles à partir d'elles, mais leur portée est souvent moins locale). De même, les théories scientifiques ont également une dimension représentationnelle sans que leurs rapports avec les modèles scientifiques soient triviaux⁸ : les théories sont-elles des modèles, des ensembles de modèles, des ensembles de propositions, autre chose encore ? Deuxièmement, il est concevable qu'il y ait des objets que les scientifiques désignent sous le nom de modèle scientifique sans pour autant que ces objets soient, en tant que modèles, des représentations — bien que ce ne soit pas à ma connaissance le cas.

De manière générale, je considérerai que l'ensemble des modèles scientifiques est un sous-ensemble de celui des représentations scientifiques, et qu'expliquer le fonctionnement des représentations scientifiques nous éclairera *de facto* sur celui des modèles, mais aussi qu'expliquer le fonctionnement des modèles devrait nous donner un certain nombre d'outils

« The Ontology of Models », dans Lorenzo MAGNANI et Tommaso BERTOLOTI (éds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Cham, Springer International Publishing, coll. « Springer Handbooks », 2017.

⁸ Voir Demetris PORTIDES, « Models and Theories », dans Lorenzo MAGNANI et Tommaso BERTOLOTI (éds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Cham, Springer International Publishing, coll. « Springer Handbooks », 2017.

pour expliquer celui des représentations scientifiques en général. Même si mon hypothèse s'avérait fausse et qu'il existait des modèles qui ne sont en aucune manière des représentations, dans la mesure où il resterait vrai qu'un très grand nombre d'entre eux en sont, les recherches sur les représentations scientifiques resteraient utiles à celles sur les modèles, et inversement. Ce mémoire porte sur les représentations scientifiques, et il n'est pas nécessaire que tous les modèles scientifiques possèdent des capacités représentationnelles pour que les propos et analyses qui y sont présentés soient pertinents.

Toujours est-il que, de façon générale, les scientifiques utilisent les modèles qu'ils ont développés pour mettre en évidence ou découvrir des caractéristiques des objets ou phénomènes que ces modèles ciblent, et ce, régulièrement avec succès. Pour que ce soit possible, dans la mesure où un modèle n'est pas sa cible, il faut que ces modèles entretiennent une relation de représentation avec leur cible : ils nous informent sur elle parce qu'ils la représentent⁹. Par exemple, le modèle mathématisé du pendule simple en physique a (entre autres) pour objectif de permettre de connaître à tout moment la position de la masse oscillante, et il atteint cet objectif précisément en proposant une représentation (ici, simplifiée et idéalisée) du pendule qui peut alors être décrite par une équation mathématique. Similairement, le modèle du cycle de l'eau en hydrologie permet de comprendre les transferts d'eau entre les réservoirs terrestres que sont les océans, l'atmosphère, les lacs, les cours d'eau, les nappes d'eau souterraine et les glaciers en proposant une représentation schématique. Dans ce travail, et dans la lignée des autres travaux sur le sujet des représentations scientifiques, je consacrerai une grande partie de mes développements aux modèles et à la modélisation, bien que mes analyses et mes exemples porteront parfois aussi sur des lois, des idéalizations, voire des théories scientifiques.

Il est à mon sens évident qu'il est à la fois possible et nécessaire de remettre en question la puissance épistémique des sciences et la centralité des modèles en leur sein. Cependant, dans le cadre de ce mémoire, ces deux thèses ne seront pas discutées ou défendues de façon systématique ou exhaustive (bien que des arguments et des exemples les soutenant seront parfois présentés). Pour être parfaitement explicite, ce mémoire s'inscrit dans une littérature qui considère comme acquis que : 1) les sciences possèdent une puissance épistémique qu'il faut expliquer, 2) les représentations scientifiques (dont les modèles) sont au cœur de cette puissance épistémique, et donc 3) expliquer le fonctionnement des représentations scientifiques permettra de mieux comprendre la puissance épistémique des sciences. Ces thèses sont le point de départ

⁹ Roman FRIGG, James NGUYEN, « Models and Representation », dans Lorenzo MAGNANI et Tommaso BERTOLOTTI (éds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Cham, Springer International Publishing, coll. « Springer Handbooks », 2017, p. 49.

de ma réflexion. Cela soulève deux questions qui seront celles que j'explorerai en détail dans ce mémoire : 1) qu'est-ce qu'une représentation scientifique ? À quelles conditions un objet, concret ou abstrait, obtient-il le statut de représentation ? Autrement dit, comment les scientifiques représentent-ils le monde ou des parties du monde ? 2) Pourquoi les scientifiques représentent-ils le monde de cette manière-là plutôt que d'une autre ? Quelles vertus épistémiques possèdent les représentations scientifiques ? On peut appeler la première question le *problème des vertus représentationnelles des représentations scientifiques*, et la deuxième question le *problème des vertus épistémiques des représentations scientifiques*. Ces deux questions sont très liées, puisque c'est généralement parce qu'une représentation représente de la manière dont elle représente qu'elle possède les vertus épistémiques qu'elle possède, mais ce sont néanmoins deux questions analytiquement distinctes, et répondre à l'une ne permet pas de répondre automatiquement et entièrement à l'autre.

Dans la suite et fin de cette introduction, je présente deux raisons historiques de l'émergence et la prise en importance de l'étude philosophique des représentations scientifiques : le développement de la conception sémantique des théories scientifiques, et l'existence d'un paradoxe concernant les représentations scientifiques en épistémologie des sciences. Je reviens ensuite sur les enjeux de ce mémoire et en présente succinctement la structure et le contenu.

2. Deux raisons de l'émergence de l'étude des représentations scientifiques

Pourquoi cet intérêt récent des philosophes pour les représentations scientifiques ? D'où émergent historiquement les différentes théories de la représentation en philosophie des sciences ? J'identifie avant tout deux raisons que je vais présenter : le développement de la conception sémantique des théories scientifiques, et l'existence de tensions entre l'épistémologie et la philosophie des sciences, et donc l'apparition de travaux situés à l'intersection de ces deux disciplines pour traiter ces tensions.

2.1. La conception sémantique des théories scientifiques

Concernant la conception sémantique des théories scientifiques, on peut dire schématiquement que durant la première moitié du vingtième siècle, sous l'impulsion du positivisme logique, les philosophes ont vu les modèles comme des artefacts temporaires que les scientifiques utilisent par facilité, mais qu'une philosophie des sciences rigoureuse pourrait, à terme, éliminer. L'analyse de la science se faisait avant tout à partir de la notion de théorie, entendue comme un ensemble de propositions. C'est durant la deuxième moitié du vingtième

siècle que la notion de modèle scientifique prend de l'importance en philosophie avec l'émergence de la conception sémantique des théories scientifiques, pour laquelle une théorie est une famille de modèles¹⁰. La notion de modèle est d'abord ici à entendre dans son acception mathématique, mais le parallèle entre les modèles mathématiques et les modèles scientifiques a rapidement été fait¹¹. La conception sémantique est à l'origine d'une des conceptions de la représentation scientifique sur laquelle je reviendrai plus longuement dans la première partie : la conception structuraliste.

En parallèle, l'importance grandissante des approches historiques et sociales de la science a mené les philosophes à se pencher sur les conditions de production de la science, et non plus seulement sur son contenu, et donc à s'interroger sur le rôle et l'omniprésence des modèles et des idéalizations dans les pratiques de recherche scientifique¹². D'un point de vue conceptuel et analytique, comme d'un point de vue pratique et pragmatique, l'étude des modèles scientifique s'est imposée¹³.

2.2. Le paradoxe épistémologique des représentations scientifiques

Pour comprendre quels genres de problèmes philosophiques se posent lorsqu'on s'intéresse à la notion de représentation scientifique et comprendre d'où ils ont émergé historiquement, il est utile de se pencher sur un paradoxe qui apparaît lorsqu'on s'intéresse à certaines propositions concernant la connaissance scientifique et les représentations scientifiques largement acquises en épistémologie et en philosophie des sciences.

Épistémologie est ici à comprendre dans le sens de philosophie de la connaissance : il s'agit d'une analyse conceptuelle sur la connaissance en général, sa définition, ses sources, ses limites, et qui s'inscrit historiquement dans la tradition analytique de la philosophie contemporaine¹⁴. Les épistémologues cherchent à déterminer les conditions de possibilités de la connaissance en général, à établir ce qui est nécessaire et suffisant pour qu'une croyance soit une connaissance, ou à montrer que ce projet est voué à l'échec. Les philosophes des sciences, de leur côté, étudient les mécanismes et méthodes des sciences, leurs limites, leurs biais, et leurs

¹⁰ Voir par exemple Frederick SUPPE (éd.), *The Structure of scientific theories*, 2^e éd., Urbana and Chicago, University of Illinois Press, 1977 ; Demetris PORTIDES, « Models and Theories », dans Lorenzo MAGNANI et Tommaso BERTOLOTI (éds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, *op. cit.*

¹¹ Patrick SUPPES, *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, Dordrecht, Springer Netherlands, 1969, p. 12.

¹² Antoine BRANDELET, *Le réalisme scientifique à l'épreuve de la fiction* [en ligne], Thèse de doctorat, Université de Namur, Université de Mons, 2023, p. 33-35, URL : <https://pure.unamur.be/ws/portalfiles/portal/90116052/theseBrandelet.pdf>.

¹³ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, *op. cit.*, p. 91–93.

¹⁴ Julien DUTANT, Pascal ENGEL (éds.), *Philosophie de la connaissance : Croyance, connaissance, justification*, Paris, Vrin, 2005, p. 9.

dimensions éthiques, politiques, esthétiques, mais aussi, évidemment, épistémiques. Ces deux disciplines ont longtemps évolué séparément et très peu de travaux ont existé à leur intersection¹⁵.

Aujourd'hui, avec la place de plus en plus importante prise par l'épistémologie des sciences, nous constatons que certaines propositions traditionnellement admises sont remises en question, en particulier concernant les représentations scientifiques. Je propose donc de présenter un paradoxe qui met cela clairement en évidence et explique, il me semble, la nécessité de l'établissement d'une conception philosophique des représentations scientifiques. Cela permettra de mieux comprendre les enjeux actuels de l'épistémologie des sciences, mais aussi d'entrevoir certains des problèmes centraux à l'analyse philosophique des représentations scientifiques qui nous intéresse dans ce mémoire.

J'appelle le paradoxe dont je souhaite parler le *paradoxe épistémologique des représentations scientifiques*, et il me semble que le raisonnement que je vais développer peut s'appliquer aux cas des modèles, des lois scientifiques, des idéalizations, des théories scientifiques, et plus généralement à tous les résultats et outils scientifiques qui se veulent avoir une portée générale et concerner un grand nombre d'objets ou de phénomènes, ou peuvent reposer sur des approximations, des idéalizations, ou des déformations de leur cible.

Le paradoxe s'exprime sous la forme de la triade inconsistante suivante :

- (1) il ne peut y avoir de bonnes raisons épistémiques d'accepter une proposition fausse ;
- (2) nous avons de bonnes raisons épistémiques d'accepter les représentations scientifiques ;
- (3) certaines représentations scientifiques nous amènent à accepter des propositions fausses.

Chacune de ces propositions est très largement acceptée, alors qu'il est logiquement impossible de les accepter toutes les trois en même temps. Accepter deux des propositions revient toujours à rejeter la troisième. C'est en détaillant le sens de ces propositions et en montrant pourquoi elles sont largement acceptées que j'espère montrer où se situe la tension, et en quoi cette dernière souligne bien certaines des difficultés philosophiques que pose la valeur épistémique des représentations scientifiques.

¹⁵ Otavio BUENO, « Epistemology and Philosophy of Science », dans Paul HUMPHREYS (éd.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Science*, Oxford, Oxford University Press, 2016, p. 233.

2.2.1. Première proposition : la nature de la connaissance

La première proposition de cette triade est très acceptée en philosophie. La connaissance est généralement définie comme un certain type de croyance vraie, où la définition de la notion de vérité généralement sous-entendue est celle de la vérité-correspondance : une proposition n'est vraie que si elle correspond adéquatement à l'état de fait qu'elle cherche à décrire. Cependant, cette définition de la connaissance peut également s'accommoder d'une conception déflationniste de la vérité. Ce qui importe ici c'est d'avoir une définition qui admette l'existence de propositions vraies et fausses, et qui ne s'oppose pas à la thèse que connaître une proposition implique que cette proposition est vraie (on ne peut pas connaître une proposition si celle-ci est fausse, je ne peux pas savoir que Liège est la capitale de la Belgique par exemple, puisque c'est faux¹⁶).

Il semble néanmoins que la majorité de l'épistémologie contemporaine se fasse dans un cadre correspondantiste vis-à-vis de la vérité, en tous cas concernant les propositions portant sur le monde réel. Les exemples de croyances vraies invoqués par les épistémologues sont systématiquement des exemples de croyances qui portent sur le monde réel, et qui sont vraies parce qu'elles correspondent à l'état du monde décrit par la croyance. Adopter la vérité-correspondance n'est donc pas une prise de position de ma part dans les débats philosophiques sur la définition de la vérité, mais plutôt l'adoption du sens généralement induit en épistémologie, et c'est justement en partie l'adoption de ce sens qui rend l'explication de la valeur épistémique des représentations scientifiques non triviale pour l'épistémologie des sciences. C'est dans ce cadre, métaphysiquement réaliste (il existe un monde réel en dehors des esprits), et aléthiquement correspondantiste, qu'il faudra comprendre le paradoxe : les propositions qui intéressent l'épistémologie, et a fortiori l'épistémologie des sciences, sont celles qui portent sur la réalité, et leur vérité ou leur fausseté vient de leur adéquation ou non à cette réalité.

En outre, il est généralement admis qu'il est possible d'avoir des croyances vraies qui ne sont pas des connaissances¹⁷, en conséquence, on ajoute généralement à la condition de vérité celle de justification. On a alors qu'une connaissance est une croyance vraie justifiée. Il ne s'agit pas de dire que cette définition de la connaissance propositionnelle comme croyance vraie

¹⁶ C'est en tout cas faux au moment où j'écris ces lignes, en avril 2024. S'il s'avérait, à la suite d'importants changements politique en Belgique, que Liège devenait la capitale politique de la Belgique, les boulets-frites, son plat national, et l'accent de Liège, son accent officiel, il faudrait évidemment adapter mon exemple à ces nouvelles circonstances.

¹⁷ Comme ça peut arriver par exemple si je crois qu'il pleuvra demain parce que j'ai mal aux genoux, et qu'il est vrai qu'il pleuvra demain. J'ai alors une croyance vraie, mais celle-ci n'est pas une connaissance.

justifiée fait consensus en épistémologie : depuis au moins le célèbre article d'Edmund L. Gettier¹⁸, c'est très loin d'être le cas. Le cœur de mon argument est que cette définition de la connaissance est le point de départ de la grande majorité des travaux s'intéressant à la notion de connaissance en philosophie contemporaine, c'est à partir d'elle que les épistémologues proposent leur propre définition de la connaissance et c'est vis-à-vis d'elle qu'ils se positionnent.

Bien qu'elle soit la plus discutée et controversée des trois conditions, l'importance donnée à la notion de justification ou à quelque chose de similaire dans la plupart des importantes théories de la connaissance explique d'ailleurs en partie le rejet de la possibilité d'avoir de bonnes raisons épistémiques d'accepter une proposition qu'on sait fausse. Quelle que soit notre méthode de garantie qu'une croyance est une connaissance, il faut qu'elle soit conductrice de vérité, qu'elle mène de la vérité à la vérité. Il n'y a *a priori* pas de place pour la fausseté dans ce cadre.

De plus, et c'est profondément lié, l'un des objectifs centraux des philosophes contemporains est d'atteindre la vérité et d'éviter l'erreur. Iels cherchent à amasser des croyances vraies le plus possible et le mieux possible, tout en évitant autant que faire se peut les croyances fausses. C'est notamment de loin l'objectif le plus fréquemment invoqué en épistémologie¹⁹. Alvin I. Goldman, pour expliciter la centralité de l'objectif de vérité en épistémologie, parle d'épistémologie véritistique²⁰ : il explique que le but de l'épistémologie est la production de croyances vraies, elle cherche à identifier les pratiques qui ont un impact favorable sur la production de connaissances par rapport à celle de l'erreur et de l'ignorance.

Ainsi, si, presque par définition, l'épistémologie cherche à trouver les moyens d'enranger le plus de connaissances et le moins d'ignorances possible, et qu'une proposition fausse ne peut en aucun cas être une connaissance, alors il ne peut y avoir de bonnes raisons épistémiques d'accepter une proposition fausse, d'autant plus si nous savons qu'elle en est une. Il peut éventuellement y avoir de bonnes raisons pragmatiques, politiques, ou éthiques d'accepter une fausseté connue, mais jamais de bonnes raisons épistémiques²¹.

¹⁸ Edmund L. GETTIER, « Is Justified True Belief Knowledge? », *Analysis*, vol. 23, n° 6, 1963.

¹⁹ David MARIAN, « Truth as the Epistemic Goal », dans Matthias STEUP (éd.), *Knowledge, truth, and duty: essays on epistemic justification, responsibility, and virtue*, Oxford, Oxford University Press, 2001, p. 151.

²⁰ Alvin I. GOLDMAN, *Knowledge in a social world*, Oxford, Clarendon Press, 1999, p. 5.

²¹ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 1.

2.2.2. Deuxième proposition : la puissance épistémique des sciences

La deuxième proposition est également très largement acceptée. Je présentais la thèse de la puissance épistémique des modèles scientifique comme un point de départ de la littérature sur les représentations scientifiques dans l'introduction de ce mémoire, je vais maintenant donner quelques raisons d'accepter cette proposition.

Les sciences sont parmi les plus grands accomplissements épistémiques de l'humanité, et l'étendue de leur succès à ce sujet me semble difficile à réfuter. Elles nous permettent de comprendre et soigner toujours plus et mieux de nombreuses maladies, de communiquer avec des gens qui se trouvent de l'autre côté de la planète, d'envoyer des fusées dans l'espace, de prédire des phénomènes géologiques ou météorologiques, de découvrir des galaxies, de traduire des textes écrits en langues éteintes, d'identifier à quelles espèces appartiennent des fossiles, de savoir à quelle époque ces espèces vivaient, etc. Tous ces accomplissements sont ou reposent sur des accomplissements épistémiques.

Typiquement, les prédictions en sont : des scientifiques prédisent, grâce à un modèle, une loi, ou une théorie, un événement x , et cet événement a en effet lieu. La proposition « au moment t , l'évènement x (une éclipse par exemple) aura lieu » est alors une connaissance, et son obtention, un accomplissement épistémique. Et ces accomplissements ne sont possibles, directement ou non, que grâce à l'établissement et l'usage de lois, modèles ou idéalizations qui sont au cœur de la pratique et de la recherche scientifique. Dans le cas des éclipses, par exemple, c'est en modélisant le système Terre-Lune-Soleil grâce aux lois de Newton et de la cinématique, c'est-à-dire en proposant une représentation de ce système qui respecte ces lois, puis en utilisant ce modèle pour prédire les positions futures de la Terre, la Lune et le Soleil, que les scientifiques parviennent à les prédire. Nous avons donc de bonnes raisons épistémiques d'accepter les représentations scientifiques et les propositions qu'ils induisent, puisque celles-ci augmentent nos connaissances à propos du monde et notre compréhension de celui-ci.

2.2.3. Troisième proposition : ce qu'impliquent les représentations

La troisième proposition est un résultat désormais classique de la recherche en philosophie des sciences. Aujourd'hui, il semble assez compliqué, voire impossible, de défendre l'idée que les représentations scientifiques ne nous amènent pas dans une certaine mesure à accepter des propositions fausses, c'est-à-dire d'affirmer qu'elles correspondent

parfaitement aux phénomènes qu'elles concernent, qu'elles sont « entièrement vraies »²², d'autant plus quand les scientifiques eux-mêmes ne défendent pas cela.

Il est par exemple parfaitement connu qu'aucun pendule simple n'existe concrètement, ce qui n'empêche pas les livres de physique d'être truffés de tels objets. Chaque masse située au bout d'une corde étant soumise à la friction, et chaque corde ayant une certaine masse, les hypothèses intégrées dans le modèle du pendule simple sont fausses²³, donc accepter ce modèle revient à accepter des propositions fausses. Ce modèle ne correspond (volontairement) pas parfaitement aux pendules réels qu'il cherche à décrire, il est donc à strictement parler faux. Il est en outre vraisemblable que les scientifiques refuseraient de s'en débarrasser définitivement au profit d'autres modèles plus complexes prenant en compte les paramètres volontairement ignorés pour le rendre « moins faux », car il perdrait alors une bonne partie de son caractère général et de sa capacité à mettre en lumière certaines caractéristiques communes à tous les pendules, idéaux comme réels.

Cela ne revient évidemment pas à dire que les représentations scientifiques ne disent rien de vrai sur leur cible ou qu'un modèle très précis n'a pas, sur certains aspects, plus de valeur qu'un autre moins précis. Je tiens avant tout à souligner que les écarts effectués par les modèles scientifiques par rapport à la vérité sont vraisemblablement présents pour des raisons épistémiques, sinon, les scientifiques ne les conserveraient pas malgré l'existence d'alternatives plus exactes. Une explication de la valeur épistémique de la relation entre les modèles et leur cible ne peut donc pas se faire uniquement en termes d'adéquation toujours plus grande à la cible.

Plus généralement, qu'elles soient désormais remplacées par d'autres ou toujours à la pointe du domaine de recherche auquel elles appartiennent, beaucoup de théories scientifiques sont fausses, ou amènent à accepter des propositions fausses. Peu d'épistémologues des sciences²⁴ seraient prêts à dire que les meilleures théories scientifiques actuelles sont

²² Cette thèse peut rappeler la méta-induction pessimiste, célèbre argument de Laudan contre une certaine forme de réalisme scientifique, selon laquelle l'existence de théories scientifiques passées désormais largement considérées comme dans l'erreur dans leurs engagements ontologiques permet d'induire que nos meilleures théories actuelles sont également probablement dans l'erreur à ce sujet, quand bien même elles font preuve d'un grand succès empirique [voir Larry LAUDAN, « A Confutation of Convergent Realism », *Philosophy of Science*, vol. 48, 1981]. Cependant, la thèse que j'avance est bien plus faible et consensuelle. Mon argument repose uniquement sur le constat qu'il existe des modèles scientifiques dont l'utilisation amène à formuler, voire accepter, des propositions fausses à propos de leur cible. Je ne tire, dans le cadre de ce mémoire, aucune conclusion réaliste ou antiréaliste de ce constat, et la littérature philosophique sur les représentations scientifiques est à distinguer de celle sur le réalisme scientifique.

²³ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 27.

²⁴ Peut-être même aucun·e.

indéniablement vraies²⁵. Aucune de nos meilleures théories n'est à l'abri d'une future révision, et certaines sont déjà révisées, mais sont conservées parce qu'elles nous sont toujours utiles dans certains domaines de recherches ou qu'aucune autre théorie n'est aujourd'hui à même de les remplacer.

La loi newtonienne de la gravitation est un exemple de loi déjà révisée et pourtant conservée, puisque la théorie newtonienne de la gravitation est désormais détrônée dans la plupart de ses domaines d'application par celle de la relativité générale, mais les lois du mouvement de Newton sont toujours très utilisées, même dans la recherche. Les scientifiques qui les utilisent sont tout à fait conscient·e·s de leur inadéquation à la réalité physique, puisqu'ils connaissent tous·te·s la théorie de la relativité, mais iels jugent que cette loi, bien que fausse à strictement parler, est, dans bien des cas, suffisante, voire meilleure que la relativité générale, pour atteindre les objectifs épistémiques qu'iels se sont fixés.

La théorie de la relativité est de plus un bon exemple de théorie conservée parce que nous n'avons pas encore de théorie consensuelle pour la remplacer. Il est bien connu des physicien·ne·s que la relativité générale et la mécanique quantique sont sur certains aspects incompatibles, mais faute d'avoir une théorie nouvelle capable de rendre compte aussi bien qu'elles des phénomènes dont elles rendent compte, iels continuent à les utiliser²⁶. C'est à ce genre de cas que pense Kuhn lorsqu'il explique que les scientifiques ne considèrent une théorie scientifique comme fausse ou dépassée qu'une fois qu'une autre théorie est là pour prendre sa place. Rejeter une théorie revient toujours, en même temps, à en accepter une autre, et les scientifiques ne se limitent jamais à comparer les théories au monde, mais ils les comparent aussi entre elles²⁷. Il semble donc bien qu'un grand nombre de représentations au cœur de la pratique scientifique reposent sur des propositions fausses ou nous amènent à en accepter.

On voit donc que les trois propositions de la triade sont indépendamment acceptables et acceptées. Il saute pourtant aux yeux qu'ensemble, elles sont en tension. On ne peut rationnellement les accepter toutes les trois en même temps.

²⁵ Alvin I. GOLDMAN, *Knowledge in a social world*, op. cit., p. 244.

²⁶ Tout en cherchant activement à établir une nouvelle théorie, mais on peut raisonnablement supposer que, même lorsque cette nouvelle théorie sera durablement établie, les scientifiques n'arrêteront pas pour autant d'utiliser la relativité générale et la mécanique quantique, comme iels n'ont pas arrêté d'utiliser les théories newtoniennes.

²⁷ Thomas Samuel KUHN, *The structure of scientific revolutions*, 4th ed, Chicago, University of Chicago press, 2012, p. 77–78.

2.2.4. La nature de la justification des trois propositions

On peut remarquer que ces trois propositions n'ont pas le même statut logique et épistémique du point de vue de leur justification. La première, en plus d'être quasiment un axiome de l'épistémologie contemporaine, résulte principalement d'analyses conceptuelles. Un·e philosophe qui la défend le fera avant tout sur base d'arguments purement logiques et conceptuels. Iel ne jugera vraisemblablement pas qu'iel ait raison de tenir (1) pour vraie pour des raisons empiriques. Si on lui demande comment iel sait qu'il ne peut y avoir de bonnes raisons épistémiques d'accepter une proposition qu'on sait fausse, iel répondra tout simplement que la définition même de la connaissance l'interdit. Bien entendu, il reste un lien avec le monde empirique. L'acceptabilité d'une théorie de la connaissance dépend grandement de sa capacité à expliquer les accomplissements épistémiques réels, concrets. Mais il me semble que la première proposition repose tout de même avant tout sur de l'analyse conceptuelle et qu'elle dépend seulement dans un second temps de considérations empiriques.

La deuxième et la troisième, en revanche, reposent bien plus directement sur des justifications d'ordre empirique. C'est en constatant — empiriquement — l'étendue et la précision des applications des sciences qu'on se convainc généralement que nous avons de bonnes raisons d'accepter les modèles scientifiques, ou au moins certains d'entre eux. Il peut également y avoir une dimension plus conceptuelle à la justification de (2), par exemple en défendant une certaine conception de ce qui est scientifique, et en justifiant (2) à partir d'elle. Cela donnerait quelque chose comme : « compte tenu de ce qu'est la science telle que je viens de la définir, il suit que nous avons de bonnes raisons épistémiques d'accepter ses modèles, quels qu'ils soient, et qu'ils existent ou non », mais une affirmation de ce genre, aussi solide soit-elle sur le plan conceptuel, ne serait pas très convaincante si elle ne se confirme pas dans l'observation concrète des sciences et de leurs accomplissements²⁸.

De la même manière, pour (3), c'est en comparant ces modèles aux phénomènes réels qu'ils visent — donc en faisant une observation empirique — qu'on se convainc qu'ils sont souvent, à strictement parler, faux, qu'ils sont en décalage avec la réalité empirique. Ils sont aussi parfois volontairement faux, lorsqu'ils sont construits comme tels par les scientifiques.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons constater que ces différences dans la nature de la justification des trois propositions impliquent une différence dans les stratégies de solution. Il ne faudra pas mobiliser le même type d'argument pour rejeter (1) que pour rejeter (2) ou (3).

²⁸ De plus, la science ne se définit pas *ex nihilo*, une bonne définition de la science doit prendre en compte les pratiques scientifiques qui ont réellement lieu. C'est pour cela que les philosophes des sciences font tant appel aux exemples et aux analyses de cas dans leurs arguments.

Rejeter (1) implique de modifier assez radicalement l'approche dominante en épistémologie, et risque donc de faire face à beaucoup de défiance. L'épistémologie repose vraisemblablement sur les principes sur lesquels elle repose pour de bonnes raisons, et on peut craindre qu'en rejeter un aussi important que l'attachement à la vérité n'entraîne de grandes pertes du point de vue des vertus et de la puissance explicative de l'épistémologie, même si ces principes peuvent (et doivent) être remis en question. Rejeter (2) ou (3) demande soit de rejeter tout un ensemble d'observations assez consensuelles et convaincantes vis-à-vis des sciences, soit d'expliquer en quoi la réception et l'interprétation de ces observations sont erronées. Quelle que soit l'approche choisie, son impact sur notre compréhension de la science, de la connaissance, et des représentations scientifiques ne saurait être négligé.

Dans le cadre des représentations scientifiques, la question peut se formuler ainsi : comment, alors qu'ils ne sont pas des copies fidèles de leur cible, les modèles font-ils pour nous fournir un si bon accès épistémique à leur cible ? J'ai pu montrer que cette question émerge directement d'un paradoxe existant lorsqu'on prend en compte ensemble certaines propositions par ailleurs très largement acceptées en épistémologie des sciences, et je pense que l'importance grandissante de la littérature sur les représentations est liée à l'existence de ce paradoxe. Toutes les théories de la représentation ne répondent pas de la même manière à cette question, et certaines n'y répondent tout simplement pas. Dans la partie qui suit, je présente les différentes théories de la représentation actuellement discutées en épistémologie des sciences, avec en ligne de mire leur explication de la valeur épistémique des modèles scientifiques.

3. Contenu et structure de ce mémoire

3.1. Postulats et enjeux

Rappelons rapidement les postulats, questions, et enjeux de ce mémoire. Ce mémoire s'inscrit dans une littérature qui considère comme acquis que : 1) les sciences possèdent une puissance épistémique qu'il faut expliquer, 2) les représentations scientifiques (dont les modèles) sont au cœur de cette puissance épistémique, et donc 3) expliquer le fonctionnement des représentations scientifiques permettra de mieux comprendre la puissance épistémique des sciences. Ces thèses sont le point de départ de ma réflexion. Cela soulève deux questions que j'ai appelées le problème des vertus représentationnelles (qu'est-ce qu'une représentation scientifique et comment représente-t-elle ?), et le problème des vertus épistémiques (pourquoi représenter le monde de cette manière-là plutôt que d'une autre ?). Ces questions seront celles que j'explorerai en détail dans ce mémoire. Ces deux questions sont très liées, puisque c'est

généralement parce qu'une représentation représente de la manière dont elle représente qu'elle possède les vertus épistémiques qu'elle possède, mais ce sont néanmoins deux questions analytiquement distinctes, et répondre à l'une ne permet pas de répondre automatiquement et entièrement à l'autre. Ce mémoire explore et analyse les différentes conceptions de la représentation scientifique, c'est-à-dire les conceptions qui proposent des solutions au problème des vertus représentationnelles, mais je resterai toujours attentif à ce que disent ces conceptions des vertus épistémiques des représentations.

3.2. Structure du mémoire

Pour répondre à ces deux problèmes, ce mémoire se divise en deux parties. Dans la première partie, je propose un état de l'art sur la question des représentations scientifiques : je présente d'abord les grandes questions auxquelles une théorie de la représentation doit répondre et les grandes caractéristiques qu'elle doit intégrer, puis je passe en revue chacune des théories importantes de la représentation, en explique les thèses, les arguments, les forces et les faiblesses. Ces conceptions sont au nombre de six, et chacune occupe une section de la première partie.

La première section présente le cadre d'analyse que je choisis pour ce mémoire et explique en détail les problèmes que doit prendre en compte une conception de la représentation scientifique. La deuxième section aborde la conception de Craig Callender et Jonathan Cohen, selon laquelle la notion de représentation scientifique se réduit à celle de représentation mentale. La troisième section présente la conception par similarité, pour laquelle les scientifiques construisent leurs représentations en exploitant des similarités entre les représentations et leur cible. La quatrième section analyse la conception structuraliste, qui affirme que les modèles partagent la structure de leur cible. La cinquième section porte sur la conception inférentielle, pour laquelle une analyse de la notion de représentation scientifique n'est pas possible au-delà de souligner la capacité des représentations à permettre de réaliser des raisonnements à propos de leur cible. La sixième section aborde la conception fictionnelle selon laquelle les représentations scientifiques sont des descriptions de leur cible qui nous invite à générer des énoncés fictionnels à leur propos. La septième section, enfin, analyse la conception DDI, qui affirme que les représentations sont à penser avant tout comme des outils dynamiques.

Aucune de ces conceptions ne me semble pleinement satisfaisante, ainsi, dans la deuxième partie, je présente en détail la théorie de la représentation scientifique qui a ma

préférence, celle d'abord élaborée par Catherine Z. Elgin²⁹, puis développée, sous le nom de conception DEKI, par Roman Frigg et James Nguyen³⁰. Fort des analyses des autres théories, je montre en quoi la conception DEKI réussit là où les autres ont échoué. Crucialement, je montre en quoi elle permet mieux que les autres de répondre au paradoxe épistémologique des représentations scientifiques et d'expliquer la valeur des représentations idéalisées. J'explique en détail le fonctionnement de cette conception, et je conclus le mémoire en répondant à des critiques récentes à son encontre.

²⁹ Catherine Z. ELGIN, *True enough, op. cit.*, chap. 12.

³⁰ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, vol. 427, Cham, Springer International Publishing, coll. « Synthese Library », 2020, chap. 8.

Partie 1 : Un état de l'art

1. Les problèmes de la représentation scientifique

La tension entre épistémologie et philosophie des sciences que j'ai présentée dans l'introduction et qui met face à face la centralité de la notion de vérité au sens d'adéquation au réel et la nature des productions scientifiques en général est tout particulièrement flagrante lorsqu'on se penche sur la dimension représentationnelle que les modèles scientifiques entretiennent avec les objets ou phénomènes du monde réel qu'ils modélisent.

Si les modèles scientifiques étaient vrais, c'est-à-dire, dans ce cadre, s'ils étaient des copies parfaitement fidèles dans le langage, la théorie ou même la matière (pour les modèles réduits ou les organismes modèles par exemple) de la partie de la réalité qu'ils ciblent, ou même si les modèles ne contenaient que des hypothèses vraies, qu'ils ne nous amenaient à accepter que des propositions vraies, ils ne présenteraient pas un grand mystère épistémologique. Nous pourrions simplement dire que « les modèles nous permettent de connaître plus et mieux le monde, car ils en sont une copie fidèle, tout ce qui est vrai du modèle est aussi vrai de sa cible, savoir quelque chose à propos du modèle revient donc à savoir quelque chose à propos de sa cible ».

Malheureusement (ou peut-être, nous le verrons, heureusement), les modèles scientifiques ne sont pas des représentations fidèles en tous points à leur cible. Ils déforment leur cible, exagèrent certaines de ses caractéristiques, en simplifient d'autres, et en ignorent d'autres encore³¹. Leur valeur épistémique est pourtant indéniable, il est donc nécessaire pour les épistémologues des sciences d'analyser et d'élucider la nature de la relation qui existe entre un modèle et sa cible, et d'expliquer comment cette relation fournit aux modèles leur valeur épistémique. C'est cette valeur épistémique qui n'est pas triviale et a besoin d'être théorisée et expliquée par l'épistémologie des sciences.

Je propose à cette fin de présenter et analyser les différentes théories de la représentation scientifique proposées aujourd'hui dans la littérature, avec une attention particulière à leur explication de la valeur épistémique des modèles. Plusieurs questions sont discutées dans la littérature philosophique sur les représentations scientifiques. Les théories proposées se différencient par les réponses apportées à ces questions, mais aussi par le choix des questions elles-mêmes.

Frigg et Nguyen identifient cinq principaux problèmes discutés dans la littérature et cinq caractéristiques des modèles scientifiques qu'une théorie de la représentation scientifique doit

³¹ Catherine Z. ELGIN, *True enough, op. cit.*, p. 250.

prendre en compte et expliquer afin d'être satisfaisante³². J'ajoute aux cinq caractéristiques une sixième caractéristique personnelle dont la prise en compte me paraît d'une importance primordiale dans l'établissement d'une théorie satisfaisante de la représentation scientifique : l'existence de représentations idéalisées. C'est le point de départ de toute la réflexion de ce mémoire, et il me semble qu'une théorie de la représentation qui impliquerait que les représentations idéalisées sont systématiquement épistémiquement moins utiles que leurs équivalentes non idéalisées ou qui ne donnerait aucune piste d'explication de la valeur épistémique des idéalizations en tant qu'idéalisation (et plus globalement des écarts volontaires d'une représentation par rapport à sa cible) raterait une caractéristique essentielle de nombreuses représentations scientifiques. Je pense donc qu'il est important d'intégrer explicitement cette caractéristique à mon cadre d'analyse, afin d'éviter qu'elle ne soit présente qu'implicitement.

Il est utile de présenter ces problèmes et caractéristiques en détail pour structurer le panorama des différentes théories. Il ne s'agit pas de sous-entendre que les problèmes mis en avant par Frigg et Nguyen sont les seuls problèmes philosophiques concernant les représentations scientifiques, ou que ce sont des problèmes bien distincts qu'il est possible d'aborder indépendamment les uns des autres³³, mais plutôt de mettre en avant les problèmes philosophiques les plus importants, ou en tout cas les plus discutés par les philosophes des sciences. Les présenter permettra par ailleurs d'établir un certain nombre de notions importantes et de préciser, parmi les questions sur la représentation épistémique, lesquelles nous intéresseront le plus dans le cadre de ce mémoire.

On a donc cinq problèmes liés à la représentation scientifique :

1. **Le problème de la démarcation** : certaines représentations sont des représentations scientifiques, d'autres non. Qu'est-ce qui différencie les représentations scientifiques des autres ? Le fait de donner un accès épistémique à leur cible aux personnes qui les utilisent ? Pourtant, le modèle réduit d'une voiture nous donne un certain accès épistémique à cette voiture (sa structure générale, son nombre de portes, de roues, etc.), mais cela ne fait pas de lui une représentation scientifique. Ceux qui rejettent cette distinction disent qu'une représentation scientifique est simplement une représentation qui est élaborée ou utilisée par un·e scientifique en

³² Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 1.

³³ Nous verrons d'ailleurs que certaines positions sur un problème peuvent impacter grandement la réponse apportée à un autre.

tant que scientifique. Dans ce cas, iels peuvent s'intéresser à la catégorie plus générale des représentations épistémiques, ce qui justifie l'établissement de parallèles entre les modèles et les représentations artistiques par exemple, ces dernières étant également capables de nous permettre d'établir des hypothèses sur leur cible. Le problème de la démarcation est alors considéré comme un non-problème.

2. **Le problème de la représentation** : C'est le problème central, et celui qui nous intéressera le plus dans ce mémoire. Il s'agit de terminer la proposition « M est une représentation scientifique/épistémique de T si et seulement si... »³⁴ Autrement dit, il s'agit d'établir les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'une représentation donnée soit scientifique/épistémique, ou de défendre la thèse qu'un tel objectif ne peut être atteint. Cela implique à la fois d'expliquer en quoi M est une représentation (d'où viennent ses capacités représentationnelles), et en quoi M est scientifique/épistémique (d'où viennent ses vertus épistémiques). Accepter ce problème comme central et tenter d'y répondre correspond à une approche qu'on peut qualifier d'analytique. Le rejeter revient généralement à adopter une approche plus centrée sur les pratiques. Cela se base sur l'idée qu'une analyse générale des représentations scientifiques/épistémiques ne peut être menée, que les modèles ne peuvent être étudiés qu'en contexte, et que toute théorie de la représentation scientifique/épistémique doit se limiter à mettre en avant des caractéristiques courantes ou des tendances des représentations, sans jamais en proposer une définition analytique exhaustive³⁵. Le choix entre scientifique et épistémique dépendra de l'approche défendue par rapport au problème de la démarcation. Il reste à voir si la prise en compte de facteurs tels que le contexte, les intentions, les pratiques, les objectifs, ou les standards rend vraiment impossible une analyse des représentations scientifiques en termes de conditions nécessaires et suffisantes.
3. **Le problème des types** : représentations picturales, équations mathématiques, descriptions propositionnelles, schémas, simulations informatiques, modèles réduits, il existe de très nombreux types de représentations scientifiques. Répondre au problème des types consiste à établir une liste aussi complète que possible de ces types et de leurs caractéristiques, voire à proposer une classification originale. Le

³⁴ Avec M pour modèle et T pour target.

³⁵ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, op. cit., p. 92.

temps passant, de nouveaux types pourront toujours arriver (qui aurait pu, il y a ne serait-ce qu'un siècle, prédire l'arrivée du type de représentation que sont les simulations informatiques ?), toute réponse à ce problème ne peut donc être définitive, la liste est toujours à compléter.

4. **Le problème de la précision** : comment savons-nous à quel point une représentation est précise, voire si elle est exacte ? Il est important de souligner, comme je l'ai déjà fait, que ce problème n'implique pas que la précision soit la seule vertu épistémique des représentations scientifiques, ni même que ce soit la plus importante. Au contraire, une part importante de l'intérêt des modèles pour un certain nombre d'épistémologues des sciences vient de leurs écarts par rapport à l'exactitude. Mais pour pouvoir juger de ces écarts, il faut d'abord être capable de dire sous quelles conditions une représentation serait exacte.
5. **Le problème ontologique** : quel est le statut ontologique des représentations scientifiques ? Quels sont les objets qui sont des représentations et quelle place ont-ils dans une ontologie plus générale ? Ce problème se distingue de celui des types en ceci qu'il ne cherche pas à établir une liste des types d'objets qui servent des représentations, mais à caractériser les représentations elles-mêmes en tant qu'objet vis-à-vis de leur statut ontologique et de clarifier les engagements ontologiques qui découlent d'une théorie de la représentation donnée. Il s'agit par exemple de déterminer quel est le statut ontologique d'un modèle mathématique ou d'une idéalisation en tant qu'objet occupant une fonction représentationnelle.

On a ensuite six caractéristiques des représentations scientifiques à expliquer :

- a. **La possibilité du raisonnement inférentiel** : un rôle central des représentations scientifiques est qu'elles nous permettent en particulier de générer des hypothèses à propos de leur cible, de tenter de déterminer certaines des caractéristiques de la cible à partir de celle de la représentation, et plus généralement d'en apprendre sur la cible en étudiant sa représentation. Toute bonne théorie de la représentation scientifique doit être capable de rendre compte de cette vertu épistémique des modèles scientifiques. C'est avant tout elle que je souhaite parvenir à expliquer de façon satisfaisante, et je jugerai les différentes théories de la représentation que je présenterai à l'aulne de leur capacité à expliquer la valeur épistémique des modèles, c'est-à-dire entre autres la capacité des modèles à permettre la génération d'hypothèses et des raisonnements à propos de leur cible.

- b. **La possibilité de la représentation ratée (*misrepresentation*)** : une bonne théorie de la représentation doit pouvoir faire la différence entre les représentations ratées et les non-représentations. Si je réalise un portrait de ma mère, au vu de mes piètres capacités artistiques, il y a tout à parier que ce portrait sera raté, qu'il ne représentera pas bien ma mère. Malgré cette réalité esthétique, on ne pourra pas dire que ce n'est pas une représentation de ma mère, là où, par exemple, le clavier avec lequel j'écris ces lignes, lui, est authentiquement une non-représentation d'elle ou de quoi que ce soit d'autre (bien que, dans le bon contexte, il puisse devenir une représentation). De la même manière, certains modèles scientifiques ratent leur cible. Si je construis un modèle du système solaire dans lequel j'oublie Vénus et interchange Jupiter et Neptune, mon modèle sera une représentation ratée du système solaire : il représentera le système solaire, mais il le fera mal, puisqu'il oubliera des caractéristiques essentielles de ce dernier qu'une bonne représentation doit inclure. Une bonne théorie de la représentation scientifique ne doit pas refuser à mon modèle le statut de représentation, et doit idéalement pouvoir expliquer en quoi mon modèle est une représentation ratée plutôt qu'une non-représentation.
- c. **L'existence des représentations sans cible** : en général, une relation de représentation est une relation entre les deux objets que sont la représentation et sa cible (nous avons vu dans l'introduction que les représentations dénotent leur cible, et je reviendrai sur la notion de dénotation dans la section 7.1 de cette partie). Pour que ceci soit possible, il faut que la cible existe. Cependant, de nombreuses représentations scientifiques se sont avérées ne pas avoir de cible dans la réalité. Le modèle de l'éther luminifère, par exemple, est un modèle sans cible. Il cherche à représenter la nature et le comportement de l'éther luminifère, alors que ce dernier n'existe pas. Il en va de même pour la théorie du phlogiston, qui postule l'existence du phlogiston alors qu'il n'existe pas. Une bonne théorie de la représentation scientifique doit expliquer ce qu'il se passe dans ce genre de cas. Ces deux accomplissements scientifiques sont-ils encore des représentations malgré leur absence de cible ? Sinon, doit-on donc inférer qu'un certain nombre de nos représentations scientifiques actuelles n'en sont pas, mais que nous ne le savons pas encore ? Comment alors expliquer leurs vertus épistémiques ? Dans le cadre plus général des représentations épistémiques, il s'agira également d'expliquer en quoi, par exemple, les représentations de créatures fictionnelles sont ou non des représentations. Peut-on dire qu'une description du magicien Gandalf, un dessin de

loup-garou ou une maquette du Faucon Millenium sont des représentations alors que ni Gandalf, ni les loups-garous, ni le Faucon Millenium n'existent ?

- d. **La directionnalité** : la relation de représentation est directionnelle, c'est-à-dire que les représentations sont à propos leur cible, mais que les cibles ne sont pas à propos de leur représentation. Un portrait photographique de Rosa Luxembourg la représente, mais Rosa Luxembourg ne représente pas son portrait. Il en va de même pour les modèles scientifiques : les astrolabes représentent la voute céleste, mais la voute céleste ne représente aucun astrolabe. Cette condition ouvre la voie à une analyse de la notion de représentation en termes de propriétés formelles : il est attendu d'une bonne théorie de la représentation scientifique qu'elle tienne compte du fait que la notion de représentation est non symétrique, voire qu'elle explique la source de cette asymétrie³⁶.
- e. **L'applicabilité des mathématiques** : c'est un fait remarquable des modèles développés par les sciences contemporaines qu'ils sont très souvent exprimés sous forme mathématique alors qu'ils représentent des objets ou phénomènes physiques concrets. Plus généralement, depuis au moins la modernité, les sciences sont de plus en plus mathématisées. Une théorie complète de la représentation scientifique doit pouvoir caractériser et expliquer la relation entre un modèle mathématique et sa cible, et donc, idéalement, expliquer comment l'appareil mathématique des sciences peut s'appliquer à la réalité concrète qu'elles étudient.
- f. **L'existence de représentations idéalisées** : beaucoup de modèles scientifiques sont très idéalisés³⁷. Ils attribuent à leur cible des caractéristiques que ces dernières n'ont pas et ignorent des caractéristiques qu'elles ont, parfois même des caractéristiques qui influencent grandement le comportement de la cible. Les scientifiques font souvent appel à des modélisations idéalisées des objets et phénomènes qu'ils étudient, et ce même lorsqu'ils ont à leur disposition d'autres représentations moins

³⁶ Antoine BRANDELET, *Le réalisme scientifique à l'épreuve de la fiction* [en ligne], Thèse de doctorat, Université de Namur, Université de Mons, *op. cit.*, p. 47.

³⁷ L'existence d'idéalisations en sciences, et plus particulièrement en physique, est un tel lieu commun qu'il existe de nombreuses histoires comiques à leur sujet, soulignant l'absurdité apparente des idéalisations réalisées par les scientifiques. Ainsi, le scientifique John Harte rapporte par exemple la blague suivante : « La production de lait d'une ferme était si faible que le fermier se décida à écrire à l'université du coin, pour demander l'aide du monde académique. Une équipe pluridisciplinaire fut constituée et dirigée par un chercheur en physique théorique. Deux semaines intensives d'enquête sur le terrain prirent alors place. Les chercheurs retournèrent à leur université avec leurs cahiers remplis de données, et la rédaction du rapport fut laissée au chef de l'équipe. Peu de temps après, le fermier reçut le rapport, l'ouvrit et lut la première ligne : "soit une vache sphérique..." » (John HARTE, *Consider a spherical cow: a course in environmental problem solving*, Sausalito, University Science Books, 1988, p. xiii, je traduis).

idéalisées des mêmes cibles. Par exemple, le modèle des gaz parfaits représente les gaz comme des ensembles de particules sans dimension et ignore complètement les interactions intermoléculaires autres que les chocs. Ces deux hypothèses sont à strictement parler fausses de tout gaz réel, et il existe des équations, comme celle du viriel, qui sont capables de prendre en compte de façon notablement moins idéalisée les caractéristiques idéalisées par le modèle des gaz parfaits. Quels intérêts épistémiques tirent les scientifiques des idéalizations ? Une bonne théorie de la représentation scientifique doit être capable de prendre en compte et d'expliquer l'usage si important des idéalizations dans les représentations scientifiques.

2. Un problème ? Quel problème ? La conception de Callender et Cohen

Dans leur article de 2006³⁸, Craig Callender et Jonathan Cohen défendent la thèse radicale qu'il n'existe en réalité pas de problème concernant les représentations scientifiques en particulier, ou les représentations épistémiques en général. Pour eux, les représentations scientifiques ne sont pas différentes des autres types de représentations comme les représentations artistiques, linguistiques, etc. Ils rejettent donc entièrement le problème de la démarcation. Mais il ne s'agit pas simplement de s'intéresser aux représentations épistémiques en général, comme beaucoup d'autres philosophes le font, il s'agit en fait d'expliquer entièrement les représentations épistémiques à travers les représentations mentales.

2.1. Le gricéanisme général

Plus exactement, ils considèrent que toutes les représentations épistémiques sont dérivées des représentations mentales. C'est ce qu'ils appellent, inspiré par les travaux de Paul Grice, le *gricéanisme général* (*general griceanism*) : toutes les sortes de représentations (scientifiques, artistiques, linguistiques, etc.) dérivent d'une sorte de représentations fondamentale qui est celle des représentations mentales³⁹. Le geste philosophique central du gricéanisme général, appliqué ici aux représentations, consiste à distinguer, dans un ensemble d'objets, les objets fondamentaux et non fondamentaux, et d'expliquer les seconds entièrement grâce aux premiers⁴⁰. C'est donc une forme de réductionnisme : pour Callender et Cohen, les représentations scientifiques se réduisent à des représentations mentales.

³⁸ Craig CALLENDER, Jonathan COHEN, « There Is No Special Problem About Scientific Representation », *THEORIA*, vol. 21, n° 1, 2006.

³⁹ *Ibid.*, p. 70–71.

⁴⁰ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 2.

En réalité, ce que Callender et Cohen veulent dire, c'est que la relation de représentation qui existe entre une représentation scientifique et sa cible est entièrement mentale, elle n'existe que dans l'esprit. Les représentations scientifiques doivent leurs vertus représentationnelles uniquement et entièrement à un processus mental, et toute conception cherchant à expliquer en quoi une représentation épistémique est une représentation devrait se contenter de faire appel à la notion de représentation mentale.

2.2. La condition de stipulation

Comment, alors, fonctionne la relation de représentation en tant que processus strictement mental ? Comment fait-on, du point de vue mental, pour faire qu'une chose en représente une autre ? Leur réponse est directe : par simple stipulation. N'importe quoi peut être utilisé pour représenter n'importe quoi d'autre, du moment qu'on stipule que c'est le cas. Je peux par exemple, assis à table avec un·e ami·e, prendre un dé et dire à mon interlocuteur·rice qu'il représente mon quartier, un chat, l'idée platonicienne du bien, ou la mer Caspienne. Rien d'autre n'est nécessaire pour établir une relation de représentation entre le dé et un de ces objets. Une fois cette stipulation effectuée, la relation de représentation existe dans mon esprit et celui de mon amie, et, disent Callender et Cohen, cela suffit entièrement à expliquer ses vertus représentationnelles.

Nous nous retrouvons avec un fonctionnement en deux étapes. Un objet x représente un autre objet y pour un sujet S parce que : 1) une relation de représentation analogue a lieu entre y et un état mental de S , et 2) S stipule que x représente y , lui conférant ainsi les propriétés représentationnelles de l'état mental⁴¹. Les deux objets, x et y , sont souvent des objets matériels, concrets. Ce ne sont pas des entités mentales. Callender et Cohen soutenant la thèse que la relation de représentation est purement mentale, il leur faut créer un parallèle entre ce qu'il se passe dans l'esprit et la relation de représentation entre x et y , ou, plutôt, il leur faut réduire cette relation à un état mental, ne la faire dépendre en rien de quelque chose de matériel. D'abord, S se représente y grâce un état mental, concrètement, S pense à y , iel en a une représentation dans son esprit. Ensuite, S stipule que x représente y , ce qui fait qu'en prenant x , S pense à y . Une représentation, pour Callender et Cohen, ne tire ses vertus représentationnelles que de cela.

Il en va de même pour les représentations scientifiques. Si le modèle du pendule simple représente tel ou tel pendule réel, si la loi des gaz parfaits représente le comportement de gaz réels, ou encore si un modèle computationnel des émotions représente les comportements

⁴¹ Craig CALLENDER, Jonathan COHEN, « There Is No Special Problem About Scientific Representation », *THEORIA*, *op. cit.*, p. 74.

émotionnels de vraies personnes, c'est simplement, pour Callender et Cohen, parce qu'un·e scientifique l'a stipulé.

On a donc la réponse suivante au problème de la représentation : un modèle scientifique M (ou toute autre représentation) représente sa cible T si et seulement si l'utilisateur·rice du modèle stipule que M représente T . Rien d'autre n'est nécessaire pour que M représente T , et la stipulation suffit à ce que ce soit le cas. La stipulation étant, selon Callender et Cohen, un acte mental, cette définition implique que les représentations scientifiques se réduisent à des représentations mentales. Quelle que soit la forme sous laquelle existe une représentation scientifique (une construction matérielle, une équation, une simulation informatique, un graphique), elle ne représente sa cible qu'en vertu de certains états mentaux représentationnels de la scientifique qui l'a créée ou qui l'utilise et d'une stipulation appropriée⁴².

À ce stade, il est important de souligner que cette définition cherche à expliquer en quoi les représentations scientifiques sont des représentations, mais absolument pas en quoi elles sont scientifiques, ou même épistémiques. Elle ne cherche à répondre qu'au problème des vertus représentationnelles, pas à celui des vertus épistémiques et envisage ces deux problèmes comme entièrement séparés. Callender et Cohen nous disent pourquoi, selon eux, un modèle est une représentation de sa cible, mais ils ne s'intéressent à aucun moment à ses vertus épistémiques. Plus précisément, ils considèrent que l'explication de la capacité des modèles à permettre des raisonnements inférentiels sur leur cible relève entièrement d'une approche pragmatique et contextuelle, mais ne rentre pas du tout dans une éventuelle réponse au problème représentationnel : les représentations scientifiques (ou épistémiques) en tant que représentations n'auraient pas de caractéristiques communes particulières qui expliqueraient leurs vertus épistémiques, et tout ce qu'on pourrait dire de général à ce propos est que les représentations scientifiques, comme beaucoup d'autres représentations, facilitent la communication à propos de leur cible.

Les contraintes qui reposent sur le choix d'un type de représentation plutôt qu'un autre pour représenter telle ou telle cible dans un contexte scientifique ou non sont donc pour Callender et Cohen essentiellement pragmatiques : elles dépendent des besoins des personnes qui utilisent ces représentations, et non des caractéristiques objectives des objets qui servent de représentations⁴³.

⁴² *Ibid.*, p. 75.

⁴³ *Ibid.*, p. 76.

2.3. Le retour des problèmes

Callender et Cohen ont-ils raison ? Un·e scientifique peut-iel représenter n'importe quelle cible par n'importe quel modèle simplement en stipulant que c'est le cas ? En principe, oui. Je peux prendre un modèle en plastique d'une molécule et stipuler qu'il représente le cycle de l'eau. Cet acte suffira à faire de ce modèle une représentation du cycle de l'eau. Cependant, cela n'explique pas la valeur épistémique des représentations scientifiques, et surtout, rien ne permet à Callender et Cohen d'affirmer qu'on n'en peut pas expliquer cette valeur épistémique de la même façon pour toutes les représentations scientifiques, c'est-à-dire qu'une théorie générale de la valeur épistémique des représentations scientifiques est impossible.

Même si la condition du raisonnement inférentiel est reléguée à des questions d'ordre purement pragmatique et contextuel, il reste raisonnable et important d'en demander une explication⁴⁴ et on ne peut pas supposer *a priori* que cette explication ne peut être générale. Leur réponse au problème de la représentation ne semble donc pas satisfaisante.

De plus, il n'est pas évident que les représentations scientifiques sont des représentations mentales. En effet, une telle approche fait des représentations des objets essentiellement limités à l'esprit, coincés pour ainsi dire dans la tête d'individus particuliers. La relation de représentation ne serait qu'une connexion entre deux objets ayant lieu dans l'esprit d'une personne particulière. Pourtant, certaines théories de la représentation soulignent que les représentations scientifiques (en particulier les modèles) ont souvent une dimension sociale importante, et qu'elles se caractérisent beaucoup par leurs usages partagés, c'est-à-dire par leur dimension essentiellement collective⁴⁵. Pour de telles théories, la réduction des représentations scientifiques aux représentations mentales ne passe pas.

Si toute représentation a besoin qu'un individu possède dans son esprit, à la suite d'une stipulation, la relation de représentation qu'elle entretient avec sa cible, une statue de Ludwig Boltzmann cesse-t-elle d'être une représentation si personne ne le regarde ou ne pense à elle ? Ou si l'humanité a entièrement oublié Boltzmann voire n'existe tout simplement plus ? Similairement, si un syllabus de biologie présente en détail le cycle de Krebs à l'aide d'un schéma représentant ses différentes étapes, mais que plus personne n'est là pour le lire, ce modèle cesse-t-il d'en être un ? Il faut sans doute que des esprits existent pour que des relations de représentation soient établies, mais il n'est pas évident qu'une relation de représentation ne puisse pas exister, sous certaines conditions, en l'absence d'esprit pour la maintenir.

⁴⁴ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 2.

⁴⁵ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, op. cit., p. 98–99.

Il faut cependant remarquer que rejeter la condition de stipulation n'implique pas de rejeter en même temps le gricéanisme général. Tout ce que le gricéanisme général requiert, c'est qu'il existe une classe privilégiée de représentations à laquelle les représentations scientifiques doivent leur statut de représentation. Que cette classe privilégiée soit celle des représentations mentales ou une autre, il faudra caractériser la relation qu'ont les représentations scientifiques avec cette classe, et expliquer comment ces représentations privilégiées représentent⁴⁶.

En outre, la condition de stipulation a l'avantage de mettre en avant les intentions des utilisateur·rice·s, ce que font également, nous le verrons, de nombreuses autres théories — bien que ce ne soit pas forcément de la même façon, comme signalé précédemment avec la mise en avant de la dimension sociale des modèles. En ceci, la conception de Callender et Cohen est antinaturaliste. Les conceptions naturalistes de la représentation sont celles qui voient la relation de représentation comme une entité naturelle, comme quelque chose qui existe entre deux objets du monde, quelles que soient les intentions des agent·e·s qui les utilisent. Pour les naturalistes, les relations de représentation sont pour ainsi dire des relations factuelles que les scientifiques peuvent étudier⁴⁷. Au contraire, les conceptions antinaturalistes sont celles qui affirment que les représentations ne peuvent pas se trouver dans la nature sans intervention humaine, qu'elles dépendent de façon essentielle des actions et des intentions des agent·e·s qui les conçoivent et les utilisent.

3. La conception par similarité : anatomie d'une chute

3.1. Une première formulation naïve

La thèse centrale de la conception par similarité des représentations scientifiques, qui est par ailleurs la réponse qu'elle propose au problème de la représentation, est simple : les modèles scientifiques représentent leur cible parce qu'ils sont similaires à leur cible, c'est-à-dire parce que le modèle et sa cible possèdent des caractéristiques en commun. Cette thèse s'applique aux représentations scientifiques, mais se veut également applicable aux autres représentations épistémiques. Les équations, les simulations numériques, les schémas, les graphiques, les modèles réduits⁴⁸, mais aussi les statues, les peintures⁴⁹, ou encore les

⁴⁶ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 2.

⁴⁷ Mauricio SUAREZ, « Scientific representation: against similarity and isomorphism », *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 17, n° 3, 2003, p. 226–227.

⁴⁸ Ronald N. GIERE, « How Models Are Used to Represent Reality », *Philosophy of Science*, vol. 71, n° 5, 2004, p. 743.

⁴⁹ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 3.

photographies, tous ces objets représentent parce qu'ils sont similaires à leur cible. La conception par similarité rejette donc le problème de la démarcation.

Elle est en outre substantialiste et réductionniste : substantialiste, car elle affirme que la relation de représentation est une propriété robuste, qu'elle est la même pour toutes les représentations et quel que soit le contexte, et réductionniste, car elle affirme qu'on peut réduire cette relation de représentation à ses composantes et ses conditions d'existence d'une manière unique et commune à toutes les représentations⁵⁰. Dans le cas de la conception par similarité : toutes les représentations se réduisent à des relations de similarité. Affirmer qu'il est possible de donner une réponse au problème de la représentation tel que je l'ai présenté implique d'être réductionniste en ce sens, de croire qu'on peut expliquer entièrement les représentations scientifiques en termes de conditions nécessaires et suffisantes.

Personne ne défend réellement la conception par similarité sous sa formulation « *M* représente *T* si et seulement si *M* est similaire à *T* », mais il est utile de l'analyser dans ce cas de figure simpliste pour au moins trois raisons. Premièrement pour mettre plus facilement en avant les caractéristiques intéressantes de la conception par similarité qui poussent les défenseur·euse·s de ses versions plus élaborées à l'adopter et à mettre la notion de similarité au cœur de leur conception de la représentation, deuxièmement parce que plusieurs problèmes évidents de cette première formulation sont présents dans les suivantes, et troisièmement parce que c'est entre autres pour palier à ces problèmes que les formulations plus complexes de la conception par similarité ont été formulées.

À première vue, cette conception peut sembler intuitive : dans de nombreux cas, les représentations scientifiques partagent en effet des caractéristiques avec leur cible⁵¹. Par exemple, une carte partagera un certain nombre de propriétés géométriques comme la forme de ses frontières ou les distances relatives entre ses éléments avec le territoire qu'elle représente. Concrètement, si la distance entre la ville *A* et la ville *B* est deux fois plus grande que celle entre la ville *A* et la ville *C* dans la réalité, ce sera aussi le cas sur la majorité des cartes⁵².

Un autre avantage de la conception par similarité est qu'elle explique directement la condition de raisonnement inférentiel : un modèle *M* et sa cible *T* ont la caractéristique *x*, donc il est possible, en analysant *M* et en constatant qu'il possède *x*, d'apprendre que *T* l'a aussi.

⁵⁰ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, *op. cit.*, p. 94–95.

⁵¹ *Ibid.*, p. 95.

⁵² Je précise sur la majorité des cartes, car certaines cartes fonctionnent différemment. Les cartes de réseaux de métro, par exemple, respectent très rarement les distances relatives des stations du réseau qu'elles représentent. Cela ne les empêche pas de partager d'autres caractéristiques avec leur cible, la position relative des stations les unes par rapport aux autres par exemple, bien que la distance relative entre les stations ne soit pas respectée.

Cependant, cette conception a un gros problème avec les propriétés logiques de la relation de représentation en général⁵³, et la condition de directionnalité en particulier. Il y a au moins trois propriétés logiques que la relation de similarité possède, mais que celle de représentation n'a pas : la symétrie, la transitivité, et la réflexivité.

Premièrement, concernant la symétrie, c'est ici que nous retrouvons la condition de directionnalité. En effet, là où la relation de représentation est directionnelle, celle de similarité ne l'est pas, puisqu'elle est symétrique : si *A* représente *B*, il n'est pas obligatoire que *B* représente *A*, mais si *A* est similaire à *B*, alors *B* est similaire à *A*. De plus, il est très courant que des objets soient très similaires sans que l'un représente l'autre pour autant. Si la conception par similarité, exprimée ainsi, était vraie, alors tout jumeau homozygote serait une représentation de son frère, les deux jumeaux étant (au moins physiquement) très similaires l'un à l'autre.

Deuxièmement, la relation de similarité est transitive : si *A* est similaire à *B* et *B* à *C* (par les mêmes caractéristiques), alors *A* est similaire à *C*. La relation de représentation ne l'est pas : même si *A* représente *B* et *B* représente *C*, *A* ne représente pas forcément *C*. Si j'utilise une feuille de papier pour représenter la Joconde (pour expliquer à quelqu'un où elle se situe par rapport aux autres œuvres du Louvre, par exemple), et que par ailleurs la Joconde est la représentation d'une jeune femme, cela ne fait pas de ma feuille de papier la représentation d'une jeune femme.

Troisièmement, la relation de similarité est réflexive : tout objet est similaire à lui-même, c'est-à-dire possède un certain nombre de caractéristiques en commun avec lui-même (dans ce cas-ci, toutes). Il est bien moins évident, concernant la relation de représentation, que tout objet se représente lui-même.

Une autre caractéristique problématique de la relation de similarité pour y réduire la relation de représentation est que deux objets quelconques sont toujours similaires l'un à l'autre, ils possèdent toujours au moins une caractéristique en commun : celle d'appartenir à l'ensemble formé de ces deux objets⁵⁴. Mais cette information ne nous dit rien des objets eux-mêmes, et surtout, ne permet pas d'affirmer qu'un des deux objets représente l'autre, malgré leur similarité.

Enfin, un dernier problème de cette conception est qu'elle ne parvient pas du tout à rendre compte des représentations sans cible. Pour que deux objets soient similaires entre eux,

⁵³ Nelson GOODMAN, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, op. cit., p. 4–5.

⁵⁴ Nelson GOODMAN, *Problems and projects*, Indianapolis, The Bobbs-Merrill Company, Inc., 1972, p. 443.

il faut qu'ils existent. Comment, pour la conception par similarité, l'illustration d'un dragon peut-elle être une représentation de dragon si elle n'a aucune caractéristique en commun avec les dragons, puisque ceux-ci n'existent pas ? De la même manière, comment le modèle de l'éther luminifère pourrait-il être similaire à l'éther luminifère, ce dernier n'existant pas ? Il semble que la conception par similarité soit incapable d'expliquer ces cas de figure.

3.2. La conception par similarité pertinente

On voit donc que cette première formulation de la conception par similarité ne tient pas. Pour la préserver, il faut *a minima* la modifier afin d'y intégrer une directionnalité, et préciser comment faire la différence entre les caractéristiques communes intéressantes et celles à ignorer. On pourrait proposer quelque chose comme : un modèle scientifique M représente sa cible T si et seulement M et T sont similaires sur des caractéristiques pertinentes et à des degrés pertinents⁵⁵.

Avec cette formulation, appelons-la la *conception par similarité pertinente*, on met bien en avant que seules certaines caractéristiques d'un modèle donné sont à prendre en compte et à imputer à sa cible, et qu'il n'est pas nécessaire que, sur les caractéristiques qui intéressent les utilisateur·rice·s du modèle, ce dernier et sa cible soient parfaitement similaires. Il n'est par exemple pas nécessaire que les tailles relatives des planètes entre elles et par rapport au soleil soient parfaitement respectées pour qu'une représentation du système solaire en soit une. Il suffit qu'elles soient respectées à un degré pertinent.

Il reste cependant un angle mort important à la conception par similarité pertinente : les intentions des créateur·rice·s et des utilisateur·rice·s des modèles. Car ce sont bien elleux qui établissent généralement quelles caractéristiques sont pertinentes et à quel degré il faut être précis. Par exemple, si je grille une tranche de pain, et que, au sortir du grille-pain, les traces dues à la cuisson semblent évoquer le visage de Jésus de Nazareth, alors la figure formée par les traces sur ma tranche de pain grillé sera similaire au visage de Jésus sur des caractéristiques pertinentes et à des degrés pertinents, mais ce ne sera pas pour autant une propriété de la figure sur ma tranche de pain d'être une représentation de Jésus. Celle-ci ne deviendra authentiquement une représentation du visage de Jésus qu'à partir du moment où je la regarderai et y verrai les caractéristiques pertinentes. Si jamais j'avais couvert ma tranche grillée de confiture de framboise et l'avait mangée sans prendre la peine de la regarder, et que personne d'autre n'avait remarqué sa similarité avec le visage de Jésus, je ne suis pas sûr qu'il aurait été

⁵⁵ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 3.1.

légitime de dire qu'elle était une représentation de Jésus, quand bien même elle lui ressemblait, ou en tout cas ressemblait à l'image que s'en fait l'iconographie religieuse traditionnelle⁵⁶.

Cette objection était déjà vraie pour la conception par similarité, elle l'est toujours pour celle par similarité pertinente. On voit donc que la similarité, même limitée à des caractéristiques pertinentes et à des degrés pertinents, ne suffit pas à rendre compte de la notion de représentation⁵⁷.

En outre, formulée ainsi, la conception par similarité semble très floue : nous n'avons aucune idée de ce qu'est la pertinence exactement, de comment concrètement discriminer entre une caractéristique pertinente et une caractéristique non pertinente, ou entre un degré de similarité pertinent ou non, nous savons seulement qu'il faut le faire. Un argument qui a été soulevé est que si la conception par similarité pertinente peut rendre compte des cas où une représentation ne possède pas toutes les caractéristiques de sa cible, comme c'est très souvent le cas avec les modèles scientifiques, elle a plus de mal avec les cas où la représentation possède les caractéristiques importantes de sa cible (voire toutes les caractéristiques), mais manque tout de même de précision par rapport à d'autres représentations.

Par exemple, un modèle du système solaire construit sur base de la mécanique newtonienne sera d'une précision approximative, et ce, même s'il prenait en compte toutes les caractéristiques du système solaire, certaines de ces caractéristiques, comme les lois qui régissent le mouvement des planètes, n'étant pas parfaitement précises dans le cadre newtonien. La conception par similarité pertinente ne parvient pas à expliquer la différence de précision entre la mécanique newtonienne et la relativité générale, puisque celle-ci ne semble pas être due à un manque de similarité pertinente entre le modèle et sa cible⁵⁸. La mécanique newtonienne et la relativité générale proposent toutes les deux une représentation du système solaire qui est similaire au système solaire réel sur des caractéristiques pertinentes et à des degrés pertinents. Il semble que la conception par similarité pertinente a du mal à rendre compte du fait que la relativité générale offre de meilleures prédictions que la mécanique newtonienne. On peut cependant se demander si elle ne verrait pas le fait que les lois de Newton sont moins empiriquement adéquates que celles de la relativité générale comme le signe que le modèle du système solaire construit grâce à la mécanique newtonienne est moins similaire au système solaire réel que celui construit grâce à la relativité générale. Dans ce cas il faudrait que la

⁵⁶ Je remercie Lucie Dengis pour cette précision.

⁵⁷ Ceci avait déjà été mis en lumière avec l'exemple de la fourmi dont les traces de passage ressemblent à Churchill dans Hilary PUTNAM, *Reason, truth, and history*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981, p. 1–3.

⁵⁸ Mauricio SUAREZ, « Scientific representation: against similarity and isomorphism », *International Studies in the Philosophy of Science*, op. cit., p. 233–235.

conception par similarité pertinente établisse selon quelles caractéristiques le modèle newtonien est moins similaire au système solaire que le modèle relativiste.

Ensuite, un problème supplémentaire de la conception par similarité pertinente est qu'elle ne parvient pas à proposer une distinction claire entre les cas de non-représentation et ceux de représentation ratée. En effet, on peut se demander à quoi ressemblerait une représentation ratée selon la conception par similarité pertinente. Vraisemblablement, il s'agirait d'une représentation qui attribue à sa cible des caractéristiques qu'elle n'a pas, ou qui lui attribue à des degrés non pertinents des caractéristiques qu'elle a. Mais, selon cette conception, cela ferait de cette représentation une non-représentation, puisqu'elle ne remplirait pas les conditions pour être une représentation. La conception par similarité pertinente ne parvient donc pas à faire la différence entre les représentations ratées et les non-représentations.

Enfin, concernant les représentations sans cibles, la conception par similarité pertinente fait face au même problème que celle par similarité : comment une représentation pourrait-elle avoir des caractéristiques pertinentes en commun avec quelque chose qui n'existe pas ? De plus, le problème des propriétés logiques reste majoritairement présent : si la similarité pertinente n'est transitive que si les caractéristiques jugées pertinentes restent les mêmes durant la transition (il faut donc que la notion de pertinence choisie soit également conservée), elle est cependant toujours réflexive et symétrique⁵⁹.

3.3. La conception intentionnelle

Un certain nombre de ces difficultés peuvent être évitées en intégrant explicitement le fait de préciser selon quelles caractéristiques et à quel degré un modèle est similaire à la cible qu'il représente à la conception par similarité elle-même, c'est-à-dire en précisant en quel sens les caractéristiques sur lesquelles une représentation est similaire à sa cible sont pertinentes. Les modèles seraient toujours accompagnés d'hypothèses, éventuellement implicites, qui affirment que le modèle est similaire à sa cible et précisent dans quelle mesure c'est le cas⁶⁰. Ces hypothèses seraient issues du fait que les modèles sont conçus par des personnes réelles, des scientifiques avec des objectifs concrets à l'esprit lorsqu'ils conçoivent ou utilisent des

⁵⁹ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 3.1. ; Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, op. cit., p. 95.

⁶⁰ Ronald N. GIERE, *Explaining science: a cognitive approach*, Chicago, University of Chicago press, coll. « Science and its conceptual foundations », 1988, p. 81.

modèles. Les scientifiques en tant que scientifiques sont des agent·e·s avec des pratiques et des intentions, donc une conception de la représentation scientifique doit prendre cela en compte⁶¹.

Le centre d'attention se déplace des représentations elles-mêmes à l'activité de représentation, on ne s'intéresse plus tant aux objets que sont les modèles qu'à l'acte même de modélisation qu'effectuent les scientifiques, et surtout, à sa dimension intentionnelle. Le schéma global de la représentation scientifique devient alors : un·e agent·e (1) a l'intention ; (2) d'utiliser un modèle *M* ; (3) pour représenter une partie du monde *T* ; (4) pour servir l'objectif *P*. Ce schéma exige explicitement que les agent·e·s formulent leurs intentions et leurs objectifs, et précisent donc quelles similarités sont importantes et dans quelle mesure elles le sont⁶².

On peut formuler la réponse de cette version élaborée de la conception par similarité au problème de la représentation comme ceci⁶³ : un modèle scientifique *M* représente sa cible *T* si et seulement si un·e agent·e *A* utilise *M* pour représenter *T* pour servir l'objectif *P* en proposant une hypothèse *H* spécifiant une similarité sur des caractéristiques pertinentes et à des degrés pertinents entre *M* et *T*.

Cette formulation, que Ronald Giere baptise *la conception intentionnelle des représentations scientifiques*⁶⁴, évite les problèmes logiques des précédentes, puisque la proposition d'une hypothèse casse l'éventuelle symétrie entre le modèle et sa cible : le modèle est équipé d'une hypothèse ou d'un ensemble d'hypothèses spécifiant comment il est similaire à sa cible, mais la cible ne possède rien de tel. Nous avons donc bien affaire à une conception qui respecte la condition de directionnalité.

De plus, l'intégration des hypothèses résout également les difficultés des formulations précédentes concernant les représentations ratées : une représentation est ratée pour la conception intentionnelle si l'hypothèse est mal choisie et mène à avoir une représentation qui est trop inexacte, mais, toujours pour cette conception, une représentation inexacte étant tout de même accompagnée d'une hypothèse et conçue pour servir un certain objectif, elle reste authentiquement une représentation, contrairement aux non-représentations. La conception intentionnelle ne parvient néanmoins pas, pour les mêmes raisons que ses prédécesseuses, à rendre compte des représentations sans cible.

⁶¹ Ronald N. GIERE, « How Models Are Used to Represent Reality », *Philosophy of Science*, *op. cit.*, p. 743.

⁶² Ronald N. GIERE, « An agent-based conception of models and scientific representation », *Synthese*, vol. 172, n° 2, 2010, p. 274.

⁶³ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 3.1.

⁶⁴ Ronald N. GIERE, « An agent-based conception of models and scientific representation », *Synthese*, *op. cit.*, p. 274.

Quelque chose d'important a eu lieu lorsque nous sommes passés de la conception par similarité pertinente à la conception intentionnelle. Là où la première était une conception naturaliste de la représentation, la seconde ne l'est plus du tout. Pour les premières formulations de la conception par similarité, ce qui fait qu'un modèle représente, ce sont ses caractéristiques propres. Tout dépend du modèle en tant qu'objet, et c'est parce qu'il est un objet tel qu'il est (c'est-à-dire similaire à sa cible) que les scientifiques peuvent les utiliser pour représenter des objets ou des phénomènes du monde. Avec la conception intentionnelle, l'emphasis est désormais mise quasi entièrement sur les scientifiques en tant qu'agents qui modélisent avec des intentions. Pour ainsi dire, tout le travail est désormais fait par les scientifiques, et non plus par les modèles.

La plupart des difficultés des premières formulations sont surmontées, mais cela se fait au prix de faire chuter la notion de similarité du centre de la conception à la périphérie. Pire, il semblerait que, pour la conception intentionnelle, la similarité ne soit même plus une condition nécessaire à la représentation. Ce n'est qu'un des moyens que les scientifiques utilisent pour représenter. Sans doute le plus important pour Giere, certes, mais pas le seul⁶⁵. Mais si la similarité n'est plus nécessaire, alors elle ne peut plus faire partie des conditions de la représentation scientifique incluses dans une réponse au problème de la représentation. Elle n'est plus qu'un critère de précision (un modèle est d'autant plus précis qu'il est similaire à un haut degré à sa cible), ou éventuellement une solution partielle au problème des types de représentation. On peut même se demander si Giere n'abandonne pas purement et simplement l'ambition de répondre au problème de la représentation.

Comment la similarité pourrait-elle être une solution au problème des types ? Quand un·e scientifique conçoit un modèle, nous dit la conception intentionnelle, il précise selon quelles caractéristiques le modèle est similaire à sa cible. Nous pourrions donc dire que la caractéristique choisie définit le type de représentation⁶⁶. Cela nécessite de proposer une analyse de la notion de similarité. Généralement, on explique la notion de similarité en disant que deux objets sont similaires à propos d'une caractéristique quand ilsinstancient tous les deux cette caractéristique. On sait par ailleurs qu'il est possible pour deux objets d'être plus ou moins similaires. Concrètement, comment cela fonctionne-t-il ? Comment savons-nous à quel point un objet est similaire à un autre ?

⁶⁵ Ronald N. GIÉRE, *Scientific perspectivism*, Chicago, University of Chicago Press, 2006, p. 63.

⁶⁶ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 3.2.

La conception par correspondance des caractéristiques pondérées de Weisberg⁶⁷ affirme qu'un modèle est similaire à sa cible dans la mesure où il partage des caractéristiques significatives avec sa cible, ne manque pas de caractéristiques significatives que sa cible possède, et ne possède pas de caractéristiques significatives que sa cible ne possède pas⁶⁸. Cette définition de la similarité des modèles à leur cible parvient assez bien à rendre compte des cas où un modèle partage en effet des caractéristiques avec sa cible, cependant, si deux objets sont similaires à propos d'une caractéristique quand ilsinstancient tous les deux cette caractéristique, ils peuvent aussi instancier des caractéristiques qui sont différentes, mais néanmoins similaires. On ne dira pas des couleurs du tableau d'un paysage qu'elles n'ont rien de similaire avec les couleurs du paysage réel simplement parce que la nuance de vert choisie pour l'herbe n'est pas exactement la même que celle de l'herbe réelle. On peut parler d'identité partielle dans le premier cas, et de ressemblance dans le deuxième⁶⁹. La conception de la similarité de Weisberg a du mal à rendre compte des cas de ressemblance pourtant courants dans les sciences⁷⁰.

En outre, les conceptions par similarité ne parviennent pas à rendre compte de l'existence des représentations scientifiques très idéalisées. Pour les conceptions par similarité, les modèles hautement idéalisés, du fait de leur haut degré d'idéalisation, sont des représentations ratées, puisqu'idéaliser un modèle par rapport à sa cible vis-à-vis d'une caractéristique consiste précisément à introduire de la dissimilarité entre le modèle et sa cible. Les conceptions par similarité ont donc du mal à expliquer pourquoi les scientifiques conçoivent de tels modèles sans supposer que c'est parce qu'ils commettent des erreurs de jugement flagrantes durant la conception de leurs modèles, ce qui ne serait pas une explication très satisfaisante, ou parce qu'ils ne peuvent pas faire plus précis, ce qui n'est pas toujours le cas : de nombreuses idéalizations sont conservées alors même que des modèles moins idéalisés de la même cible existe. Par exemple, le modèle du pendule simple, très idéalisé, est conservé dans l'enseignement comme dans la pratique scientifique alors que les physicien·ne·s sont aujourd'hui parfaitement capables d'établir des modèles du pendule qui sont significativement moins idéalisés.

⁶⁷ Michael WEISBERG, *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*, Oxford, Oxford University Press, 2013, chap. 8.

⁶⁸ Wendy S. PARKER, « Getting (even more) serious about similarity », *Biology & Philosophy*, vol. 30, n° 2, 2015, p. 269.

⁶⁹ Ilkka NIINILUOTO, « Analogy and Similarity in Scientific Reasoning », dans David H. HELMAN (éd.), *Analogical Reasoning*, Dordrecht, Springer Netherlands, 1988, p. 272–273.

⁷⁰ Wendy S. PARKER, « Getting (even more) serious about similarity », *Biology & Philosophy*, op. cit., p. 273.

Enfin, on peut se demander comment les conceptions par similarité traitent les représentations abstraites⁷¹. Pour que deux objets possèdent des caractéristiques en commun, il faut qu'ils soient le genre d'objets capables de posséder des caractéristiques en commun. Notamment, deux objets concrets sont capables d'avoir des caractéristiques communes, deux objets abstraits également, mais dans le cas d'un objet concret et un abstrait, il est moins évident de déterminer le genre de caractéristiques qui peuvent être communes aux deux objets.

Dans le cas des modèles concrets et matériels, comme les cartes, les modèles réduits ou les organismes modèles par exemple, c'est assez direct. Le modèle de la baie de San Francisco est capable de posséder des caractéristiques en commun avec la baie réelle (la structure générale de ses parties ou la taille relative de deux bâtiments par exemple) justement parce que les deux sont des objets matériels. Il en va de même pour la drosophile comme modèle des mouches à l'état naturel (voir des insectes en général, ou de certains processus biologiques).

Dans le cas des modèles abstraits, comme les modèles mathématisés par exemple, il est plus compliqué de voir comment ils pourraient posséder des caractéristiques de leur cible. Ces modèles n'ont pas de situation spatiotemporelle définie, et sont, pour reprendre les mots de Ian Hacking, bien plus dans la tête qu'entre les mains⁷². Dans la mesure où ils ne sont pas concrets, et que les caractéristiques qu'un modèle et sa cible sont censés avoir en commun sont généralement des caractéristiques concrètes selon les conceptions par similarité (puisque la cible est concrète), ces conceptions semblent *a priori* incapables d'expliquer le fonctionnement des représentations scientifiques qui ne sont pas concrètes. Les caractéristiques partagées sont-elles abstraites ou métaphoriques, comme l'amplitude de la masse plutôt que la masse elle-même par exemple ? Un objet concret peut-il posséder des caractéristiques abstraites ? La position des conceptions par similarité sur cette question n'est pas claire.

En conclusion, nous voyons que la conception par similarité fait face à de nombreux problèmes qu'elle ne semble pas capable de surmonter sans subir d'importantes modifications. Si la notion de similarité peut peut-être avoir sa place quelque part dans une théorie générale de la représentation scientifique, elle ne fait vraisemblablement pas l'affaire en tant que critère central de cette théorie.

⁷¹ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 3.2.

⁷² Ian HACKING, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983, p. 216.

4. La conception structuraliste, entre mathématiques et sciences

4.1. Une conception pleine d'héritages

La conception structuraliste des représentations scientifiques est celle qui est héritière de la conception sémantique des théories scientifiques pour laquelle une théorie est une famille de modèles, et un modèle est une structure, ou possède les caractéristiques qui font de lui un modèle en vertu de sa structure. La thèse centrale de la conception structuraliste est qu'il existe une forme de morphisme entre un modèle et la structure de sa cible. Cette conception permet donc directement de remplir la condition de raisonnement inférentiel : il y a morphisme entre le modèle et sa cible donc, si on sait quel morphisme et quels éléments du modèle correspondent à quels éléments de la cible, on sait, dans ce qui est vrai du modèle, ce qui l'est aussi de la cible, et on peut donc utiliser le modèle pour mener des raisonnements à propos de la cible.

Un autre avantage important de la conception structuraliste concerne l'applicabilité des mathématiques. En effet, le structuralisme est une importante tradition en philosophie des mathématiques pour laquelle les mathématiques sont l'étude des structures⁷³. Adopter une conception structuraliste vis-à-vis des représentations scientifiques permet donc d'invoquer cette tradition pour expliquer l'applicabilité des mathématiques dans les sciences. Si les objets d'étude des mathématiques sont les structures, et que les modèles partagent leur structure avec leur cible, alors il n'est pas étonnant que les modèles scientifiques soient à ce point mathématisés.

La première question à se poser est celle de la notion de structure utilisée par les structuralistes. Lorsqu'on dit que les modèles sont des structures ou qu'ils possèdent la même structure que leur cible, à quel sens du mot *structure* fait-on appel ? En général, la notion de structure utilisée est celle de structure mathématique⁷⁴, selon laquelle une structure S est une entité composite consistant en un ensemble non vide U d'objets et un ensemble de relations R indexé sur U . On a $S = (U, R)$. Ces objets et ces relations n'ont pas besoin d'être définis. Pour que quelque chose soit une structure en ce sens, il suffit que les objets de l'ensemble U soient des objets dont la seule propriété est d'être des objets, et que les relations de l'ensemble R

⁷³ Voir notamment Stewart SHAPIRO, *Thinking about mathematics: the philosophy of mathematics*, Oxford, Oxford University Press, 2000 ; Michael D. RESNIK, *Mathematics as a Science of Patterns*, Oxford, Oxford University Press, 1997.

⁷⁴ Néanmoins, ce n'est pas la seule. Pour une présentation des différentes notions de structure utilisées dans la littérature sur les représentations scientifiques, voir Martin THOMSON-JONES, « Structuralism About Scientific Representation », dans Alisa BOKULICH et Peter BOKULICH (éds.), *Scientific Structuralism*, Dordrecht, Springer Netherlands, coll. « Boston Studies in the Philosophy and History of Science », 2011.

portent sur les objets de U^{75} . La question de la nature des objets et des relations qu'ils entretiennent entre eux ne vient que dans un second temps, lorsqu'on s'intéresse à un modèle spécifique et à ce qu'il est capable de nous dire de sa cible. Les structuralistes, en réduisant les modèles scientifiques à des structures au sens mathématique, établissent donc une équivalence entre la notion de *modèle* utilisée dans les sciences formelles (et en particulier en théorie des modèles) et celle utilisée dans les sciences empiriques⁷⁶. Pour eux, les modèles scientifiques sont des modèles au même titre que les modèles mathématiques (c'est-à-dire les modèles étudiés en théories des modèles, donc les structures) en sont.

Définir les modèles comme des structures permet de répondre au problème ontologique d'une manière analogue que celle utilisée pour expliquer la caractéristique de l'applicabilité des mathématiques : si les modèles sont des structures au sens mathématique du terme, les structuralistes peuvent faire appel aux travaux de philosophie des mathématiques qui cherchent à définir le statut ontologique des structures.

4.2. Le structuralisme par isomorphisme

Une fois définie la notion de structure utilisée, il faut définir le morphisme choisi pour expliquer la relation de représentation qui a lieu entre les modèles et leur cible. Plusieurs possibilités sont discutées dans la littérature, mais la plus simple est celle qui affirme que les modèles scientifiques, en tant que structures, représentent leur cible parce qu'ils sont isomorphes à leur cible. Deux structures S_1 et S_2 sont dites isomorphes si et seulement s'il est possible d'établir une bijection entre S_1 et S_2 telle que chaque objet de l'ensemble d'objets U_1 de S_1 , possède un et un seul équivalent dans l'ensemble d'objets U_2 de S_2 , et de même pour l'ensemble de relations R_1 de S_1 et l'ensemble de relation R_2 de S_2 , ceci de manière que les relations qui existent entre les objets de U_1 soient préservées dans U_2 .

On obtient une réponse au problème de la représentation, avec S_M le modèle en tant que structure s'il s'agit d'un modèle mathématique ou la structure du modèle dans les autres cas, et S_T la structure qu'instancie sa cible : un modèle M représente sa cible T si et seulement S_M est isomorphe à S_T ⁷⁷. De la même manière qu'avec la première formulation de la conception par similarité, personne ne défend réellement cette première formulation, mais il est utile

⁷⁵ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 4.1.

⁷⁶ Patrick SUPPES, *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, op. cit., p. 12.

⁷⁷ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 4.2.

d'expliciter ce qui la met en défaut pour comprendre les formulations plus élaborées de la conception structuraliste des représentations scientifiques.

La conception structuraliste par isomorphisme, que nous pouvons appeler *structuralisme naïf*, comme la conception par similarité, est naturaliste, substantialiste et réductionniste. Elle fait face globalement aux mêmes difficultés que la première formulation de la conception par similarité. Tout d'abord, la notion d'isomorphisme présente les mêmes problèmes logiques, et donc les mêmes difficultés vis-à-vis de la directionnalité, que celle de similarité lorsqu'on essaie d'y réduire la notion de représentation scientifique. Là où la notion d'isomorphisme est symétrique, réflexive et transitive, celle de représentation ne l'est pas. D'autres morphismes, comme l'homomorphisme ou l'isomorphisme partiel, ont été proposés pour tenter de surmonter ces difficultés, mais ils sont tous réflexifs⁷⁸, le problème logique reste donc présent.

En outre, le structuralisme naïf est trop inclusif : il oblige à considérer comme des représentations un certain nombre d'entités qui n'en sont pas. En effet, il existe des cas d'isomorphisme qui ne sont pas (encore) des cas de représentations, et si l'isomorphisme suffisait à établir la représentation scientifique, il faudrait alors considérer que c'est Riemann qui a inventé la relativité générale, puisque la géométrie riemannienne sert de cadre mathématique à la théorie d'Einstein. Dès son élaboration par Riemann, la géométrie riemannienne était isomorphe à la structure de la gravitation telle que décrite par la relativité générale, quand bien même cette théorie n'existait pas encore. Ce n'est que lorsqu'Einstein et d'autres scientifiques utilisèrent cette géométrie pour représenter la gravité que celle-ci devint authentiquement une représentation scientifique. Plus généralement, un argument analogue à celui de la fourmi de Putnam⁷⁹ peut être établi : si un mathématicien complètement non intéressé par les applications des mathématiques en sciences écrit et étudie des équations qui sont par ailleurs utilisées pour représenter un phénomène physique, on ne pourra pas dire qu'il a établi une représentation du phénomène en question, puisqu'il n'a aucune conscience du fait que ces équations peuvent être utilisées pour cela, alors qu'il aura pourtant décrit et étudié une structure isomorphe à celle de ce phénomène physique⁸⁰.

⁷⁸ Voir Francesca PERO, Mauricio SUAREZ, « Varieties of misrepresentation and homomorphism », *European Journal for Philosophy of Science*, vol. 6, n° 1, 2016 pour une analyse des différents morphismes proposés dans la littérature.

⁷⁹ Hilary PUTNAM, *Reason, truth, and history*, op. cit., p. 1–3 ; voir également Bas C. VAN FRAASSEN, « Interpretation of science; science as interpretation », dans Jan HILGEVOORD (éd.), *Physics and our view of the world*, Cambridge, 1994, p. 170.

⁸⁰ Roman FRIGG, « Models and Representation: Why Structures Are Not Enough », *Measurement in Physics and Economics Project Discussion Paper Series*, 2002, p. 10.

Comment les modèles concrets pourraient-ils *être* des structures alors qu'ils ne sont pas des objets abstraits ? Les structuralistes pourraient répondre en abandonnant la thèse forte que les modèles *sont* des structures pour celle plus faible qui dit qu'ils *ont* des structures, comme c'est déjà le cas des cibles dans leur théorie. Cela éviterait d'autant plus l'erreur de catégorie qui consisterait à dire qu'une structure mathématique peut être isomorphe à un système physique réel, puisqu'un isomorphisme ne peut avoir lieu qu'entre deux structures. Cependant cela soulève la question de la manière par laquelle un système physique a une structure. Qu'est-ce que cela veut dire pour un système physique d'avoir une structure ? Les modèles ne représentent-ils pas vraiment le monde réel, mais seulement les données récoltées par les scientifiques⁸¹ ? À moins que pour les modèles, d'un point de vue pragmatique, les données elles-mêmes soient le phénomène physique réel⁸² ? Une autre approche est de dire que les systèmes physiquesinstancient des structures, et que ce sont ces structures instanciées par le modèle et la cible qui sont isomorphes l'une à l'autre. C'est la position qui semble être celle de la plupart des structuralistes⁸³.

Cependant, cette approche a un problème. En effet, bien que le structuralisme naïf soit, dans une certaine mesure, restrictif (toute structure n'est pas isomorphe à toute autre), il rencontre des difficultés avec les nombreux cas de structures utilisées pour représenter plusieurs phénomènes différents. Le modèle de l'oscillateur harmonique, par exemple, peut représenter un pendule, mais aussi un ressort. Le structuralisme naïf ne fait pas la différence entre ces deux usages du même modèle, de la même structure. Il ne permet pas d'identifier la cible d'une représentation⁸⁴. Et ceci fonctionne dans l'autre sens : tout objet instancie plusieurs structures différentes, et le structuralisme naïf semble partir du présupposé que chaque objet n'instancie qu'une structure, il n'explique pas en quoi une structure serait meilleure qu'une autre pour représenter tel ou tel phénomène⁸⁵.

Enfin, le structuralisme naïf ne différencie pas les représentations ratées des non-représentations, et il exclut la possibilité d'avoir des représentations sans cible. Il ne différencie pas les représentations ratées des non-représentations, car, pour lui, une représentation ratée, est précisément une représentation qui ne réussit pas à proposer une structure isomorphe à sa cible,

⁸¹ Patrick SUPPES, « Models of Data », dans *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, Dordrecht, Springer Netherlands, 1969.

⁸² Bas C. VAN FRAASSEN, *Scientific representation: paradoxes of perspective*, Oxford and New York, Clarendon Press ; Oxford University Press, 2008, p. 253–261.

⁸³ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 4.3.

⁸⁴ *Ibid.*, sect. 4.2.

⁸⁵ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, op. cit., p. 96.

mais si une représentation scientifique l'est précisément parce qu'elle est isomorphe à la structure de sa cible, alors ne pas réussir à proposer une structure isomorphe revient à ne pas être une représentation du tout⁸⁶. Elle exclut enfin la possibilité des représentations sans cible, car pour qu'un modèle soit isomorphe à la structure de sa cible, il faut qu'il ait une cible.

4.3. Le structuralisme sophistiqué

Une solution à la plupart de ces difficultés consiste à opérer le même déplacement que lorsque nous sommes passés de la conception par similarité pertinente à la conception intentionnelle, c'est-à-dire à intégrer les scientifiques, l'acte de modélisation, et les hypothèses qui sont à sa base au cœur du structuralisme. On obtient le *structuralisme sophistiqué* : un modèle scientifique M représente sa cible T si et seulement si un·e agent·e A utilise M pour représenter T en proposant une hypothèse théorique H spécifiant un morphisme entre S_M et S_T . Cela revient pour les structuralistes à accepter que la notion de représentation demande toujours, à un moment ou un autre, une intention⁸⁷ ou une intervention humaine, qu'elle dépend de l'usage qui est fait de la représentation⁸⁸, de son processus de production, et d'autres facteurs pragmatiques⁸⁹.

Les effets de ce déplacement sont les mêmes qu'avec la conception intentionnelle : on obtient une théorie qui évite la plupart des écueils de sa version naïve, mais au prix de mettre au centre des considérations pragmatiques, et de rejeter les notions de structure et d'isomorphisme à la périphérie.

Pour conclure, concernant le problème des styles, on peut se demander si, pour le structuralisme, un morphisme proposé entre un modèle et sa cible ne correspond pas à un style de représentation. À l'intérieur de chaque style, une représentation est exacte dans la mesure où le morphisme correspondant à ce style (isomorphisme, homomorphisme, isomorphisme partiel, etc.) a effectivement lieu⁹⁰.

Cependant, le structuralisme, même sophistiqué, et même limité à une tentative de réponse au problème des styles, rentre en conflit avec la pratique scientifique. Tout d'abord, il ne parvient pas à expliquer de façon satisfaisante l'existence de modèles très idéalisés, ces

⁸⁶ Mauricio SUAREZ, « Scientific representation: against similarity and isomorphism », *International Studies in the Philosophy of Science*, op. cit., p. 235.

⁸⁷ Otávio BUENO, « Models and Scientific Representations », dans Jacob BUSCH et P. D. MAGNUS (éds.), *New Waves in Philosophy of Science*, Basingstoke, Palgrave Macmillan, 2010, p. 94–95.

⁸⁸ Bas C. VAN FRAASSEN, *Scientific representation: paradoxes of perspective*, op. cit., p. 23.

⁸⁹ Otávio BUENO, Steven FRENCH, « How Theories Represent », *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 62, n° 4, 2011, p. 885.

⁹⁰ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 4.3.

idéalisations rendant difficile, voire impossible, la conservation d'une structure et donc la possibilité d'un morphisme. Ensuite, dans la mesure où le structuralisme offre une reconstruction rationnelle de la modélisation, il ne semble pas capable de rendre compte de façon satisfaisante des pratiques concrètes des scientifiques. Il ne capture pas ce qui importe dans l'acte de modélisation⁹¹. Notamment, le structuralisme voudrait que les scientifiques parlent toujours de leurs modèles comme de structures, ou soient au moins conscient·e·s que leurs modèles ne sont, en dernière analyse, que des structures, or ce n'est que rarement le cas. Les modèles concrets comme celui de la baie de San Francisco ne sont pour ainsi dire jamais vus comme des structures mathématiques par les scientifiques, et il en va de même pour énormément de modèles plus abstraits comme le pendule simple ou l'agent·e rationnel·le des économistes, qui sont souvent discutés par les scientifiques comme s'ils étaient des modèles concrets (ce qu'ils ne sont évidemment pas)⁹².

Finalement, nous voyons que la conception structuraliste subit le même sort que la conception par similarité : si la notion de structure pourrait sans doute jouer un rôle quelque part dans une théorie générale de la représentation scientifique, elle ne peut en être la condition centrale.

5. La conception inférentielle : dégonfler la notion de représentation

Du sort subi par la conception structuraliste et celle par similarité, Mauricio Suárez conclut que les approches naturalistes, celles qui voient la dimension représentationnelle des modèles scientifiques comme une caractéristique intrinsèque au modèle qui ne dépend en aucune mesure des agent·e·s qui les utilisent et de leurs intentions, sont vouées à l'échec⁹³. Pour les mêmes raisons, il rejette les éventuelles autres théories substantialistes ou réductionnistes⁹⁴.

5.1. Rester en surface

À la place, il propose d'adopter une approche déflationniste pour la notion de représentation scientifique. Dans ce contexte, cela consiste à affirmer qu'une théorie de la représentation scientifique ne doit pas chercher à définir cette notion à partir de conditions nécessaires et suffisantes, mais seulement à en décrire les caractéristiques générales (et

⁹¹ Voir notamment Nancy CARTWRIGHT, *The dappled world: a study of the boundaries of science*, Reprinted, Cambridge, Cambridge University Press, 2010 ; Mary S. MORGAN, Margareth MORRISON (éds.), *Models as mediators: perspectives on natural and social science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.

⁹² Peter GODFREY-SMITH, « The strategy of model-based science », *Biology & Philosophy*, vol. 21, n° 5, 2007.

⁹³ Mauricio SUAREZ, « Scientific representation: against similarity and isomorphism », *International Studies in the Philosophy of Science*, op. cit., p. 227.

⁹⁴ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, op. cit., p. 96.

vraisemblablement nécessaires), ces caractéristiques n'étant rien d'autre que ses caractéristiques de surface⁹⁵. Pour les approches déflationnistes d'un concept, une analyse dudit concept en termes de conditions nécessaires et suffisantes ne nous aidera pas à en comprendre l'usage⁹⁶. Dans la mesure où Suárez ne cherche volontairement pas à déterminer les conditions nécessaires et suffisantes à la représentation scientifique, mais seulement à en souligner certaines conditions nécessaires, il ne cherche pas une réponse au problème de la représentation.

Quelles sont ces caractéristiques de surface qui constitueraient tout ce qu'il y a à dire des représentations scientifiques en tant qu'elles sont des représentations ? Suárez en identifie deux : la force représentationnelle et le raisonnement inférentiel⁹⁷. La force représentationnelle, c'est le fait pour quelque chose (une équation, une illustration, un modèle réduit, n'importe quoi) d'être conçu ou envisagé de façon à pouvoir être utilisé comme représentation⁹⁸. Cela ressemble à la condition de stipulation de Callender et Cohen sans y correspondre exactement : Suárez ancre la force représentationnelle dans les pratiques — la stipulation ne suffit pas, il faut prendre en compte les normes de la pratique dans laquelle s'inscrit chaque représentation scientifique⁹⁹ — et elle dépend du niveau de compétence et d'information des agent·e·s par rapport à la représentation utilisée¹⁰⁰. Contrairement à la seconde caractéristique, la force représentationnelle est, pour Suárez, une caractéristique nécessaire à toute représentation (scientifique ou non)¹⁰¹.

Le raisonnement inférentiel est, dans le cadre de Frigg et Nguyen que je reprends, la caractéristique (a)¹⁰². Les représentations scientifiques ont la caractéristique notable de permettre aux scientifiques de mener des raisonnements à propos des cibles de leurs modèles en les utilisant. C'est cette caractéristique qui distingue les représentations scientifiques de représentations par simple stipulation arbitraire¹⁰³. Suárez prend simplement cette caractéristique comme condition nécessaire à toute représentation scientifique et refuse de chercher à l'expliquer autrement que contextuellement ou pragmatiquement. On ne cherche

⁹⁵ Mauricio SUAREZ, « An Inferential Conception of Scientific Representation », *Philosophy of Science*, vol. 71, n° 5, 2004, p. 770–771.

⁹⁶ Mauricio SUAREZ, « Deflationary representation, inference, and practice », *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 49, 2015, p. 39.

⁹⁷ Mauricio SUAREZ, « An Inferential Conception of Scientific Representation », *Philosophy of Science*, *op. cit.*, p. 771.

⁹⁸ *Ibid.*, p. 768.

⁹⁹ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, *op. cit.*, p. 98.

¹⁰⁰ Mauricio SUAREZ, « An Inferential Conception of Scientific Representation », *Philosophy of Science*, *op. cit.*, p. 768–769.

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 776.

¹⁰² Voir section 1 de cette partie.

¹⁰³ Mauricio SUAREZ, « An Inferential Conception of Scientific Representation », *Philosophy of Science*, *op. cit.*, p. 776.

plus à expliquer en vertu de quoi les représentations scientifiques permettent de réaliser des raisonnements à propos de leur cible, mais on prend cette caractéristique, ainsi que celle de posséder une force représentationnelle, comme les caractéristiques centrales des représentations scientifiques.

5.2. La conception inférentielle

On obtient la définition suivante : un modèle M représente sa cible T seulement si (i) la force représentationnelle de M pointe en direction de T , et (ii) M permet aux agent·e·s compétent·e·s et informé·e·s de réaliser des inférences à propos de T ¹⁰⁴. Suárez baptise cette définition la *conception inférentielle*. Formulée ainsi, (i) inclut assez clairement la caractéristique de directionnalité. Comme avec celle de raisonnement inférentiel, plutôt que de chercher à l'expliquer substantiellement, Suárez propose de la prendre comme condition nécessaire à la représentation scientifique.

La conception inférentielle est une approche profondément pragmatique : Suárez explique que (i) dépend des intentions d'un·e ou plusieurs agent·e·s, que ces intentions dépendent elles-mêmes de considérations pragmatiques, et que (ii) doit aussi être analysé de façon pragmatique puisque les informations et compétences dont un·e agent·e a besoin pour réaliser des inférences à partir d'un modèle varient en fonction de ses objectifs et du contexte dans lequel iel utilise le modèle¹⁰⁵.

Chaque modèle doit être analysé indépendamment des autres et aucune théorie générale des modèles ne peut expliquer leur dimension représentationnelle de manière unifiée. La conception inférentielle ne nous dit pas comment concevoir des représentations scientifiques (là où la conception par similarité ou le structuralisme pouvaient prétendre le faire), elle est une description abstraite qui ne tient que lorsqu'elle porte sur des représentations concrètes, un cadre qui sera complété différemment par chaque représentation en fonction des normes et pratiques de la communauté qui utilise cette représentation et du contexte spécifique dans lequel elle est utilisée¹⁰⁶.

Concernant le problème de la démarcation, si Suárez établit des parallèles entre représentation scientifique et artistique, il ne rejette pas totalement l'idée d'une démarcation entre les représentations scientifiques et les autres. Sa conception étant centrée sur la possibilité du raisonnement inférentiel, c'est là que se trouve une certaine démarcation : les représentations

¹⁰⁴ *Ibid.*, p. 773.

¹⁰⁵ *Ibid.*

¹⁰⁶ *Ibid.*

scientifiques permettent de réaliser des inférences à propos d'une cible en particulier qui n'auraient pu être réalisées avec n'importe quelle autre représentation obtenue par simple stipulation¹⁰⁷. Par exemple, le tableau périodique des éléments est une représentation *scientifique* des éléments chimiques (plutôt qu'une simple représentation) parce qu'il permet à ceux qui ont appris à le comprendre et à l'utiliser de formuler un certain nombre d'inférences à propos des éléments chimiques, comme le nombre d'électrons de tel ou tel atome, la famille à laquelle il appartient, etc. Si, par simple stipulation, je prenais une pierre pour représenter les éléments chimiques, elle n'aurait pas toutes les vertus inférentielles qu'a le tableau périodique des éléments. Il y a donc une démarcation entre représentation scientifique et représentation en général, et celle-ci repose sur la possibilité du raisonnement inférentiel.

Cependant, cette démarcation n'est pas nette. Comme les représentations scientifiques, les représentations artistiques permettent souvent de réaliser plus d'inférences que les simples représentations par stipulation. Le portrait d'un roi permet d'en apprendre sur son apparence, la mode de son époque, le genre d'émotions qu'il cherchait à susciter, etc. La différence entre une représentation par simple stipulation et une représentation scientifique du point de vue de leur capacité à permettre des raisonnements à propos de leur cible n'est donc pas une différence de nature, mais de degré. Cela va de ne permettre presque aucune inférence (les représentations par simple stipulation), à en permettre énormément (les représentations scientifiques dans le bon contexte et entre les bonnes mains), en passant par en permettre un certain nombre, mais pas autant que les représentations scientifiques, qui sont conçues pour cela (les représentations artistiques).

Pour Suárez, c'est la structure interne d'un modèle qui permet à un·e scientifique, dans la mesure où il·elle est compétent·e et informé·e, de l'utiliser pour formuler des inférences¹⁰⁸, une représentation scientifique en reste donc une même en l'absence de scientifique pour l'utiliser. Le modèle doit pouvoir être divisé en différentes parties et les relations entre ces parties doivent être mises en avant, afin que ces parties et ces relations soient ensuite interprétées en termes de celles de la cible¹⁰⁹. Ce n'est cependant pas un retour à la conception structuraliste, puisque Suárez n'impose aucun morphisme en particulier (il fait uniquement appel à la notion d'interprétation), et que pour lui le choix de la structure à attribuer au modèle et à la cible est pragmatique et contextuel. Il peut être utile de voir une certaine cible comme instanciant une certaine structure dans un contexte, et comme en instanciant une autre dans un autre contexte.

¹⁰⁷ *Ibid.*, p. 774–775.

¹⁰⁸ *Ibid.*, p. 774.

¹⁰⁹ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, *op. cit.*, p. 98.

La conception inférentielle présente plusieurs avantages. Tout d'abord, elle évite les difficultés logiques auxquelles faisaient face les conceptions structuralistes et par similarité, puisque la directionnalité est directement implémentée dans les conditions de la représentation scientifique. La force représentationnelle de M pointe vers T , et cela n'implique pas qu'elle pointe vers M lui-même, que la force de T (qui n'en a d'ailleurs généralement pas) pointe vers M , ou que si la force de T pointe vers C , celle de M pointe vers C également. La notion de force représentationnelle est donc non réflexive, non symétrique, et non transitive¹¹⁰.

Ensuite, cette conception permet l'existence de représentations ratées puisqu'elle ne demande pas que toutes les conclusions formulées grâce à un modèle à propos de sa cible soient vraies. Elle n'a également pas de problème avec les représentations sans cible puisque la force représentationnelle ne demande pas que la cible existe réellement, elle traite les représentations sans cible de la même manière que celles avec cible¹¹¹.

Un autre avantage important de la conception inférentielle est qu'elle sépare conceptuellement la force représentationnelle et la possibilité de réaliser des inférences puisqu'il s'agit pour elle de deux conditions indépendantes. Cela permet de rendre compte des nombreuses situations où quelqu'un se trouve face à une représentation, le sait, mais n'est pas capable de réaliser des inférences intéressantes grâce à cette représentation¹¹², ce qui est une expérience courante face à des représentations, artistiques comme scientifiques.

Face à une œuvre peinte, la majorité d'entre nous est capable de constater qu'il s'agit d'une représentation, c'est-à-dire, pour Suárez, d'en apprécier la force représentationnelle, mais seul·e·s ceux ayant les connaissances et compétences appropriées sauront repérer les détails qui permettent de tirer des inférences intéressantes à partir de ce tableau. Par exemple, il faut un certain niveau de compétence et de connaissances en analyse et histoire de l'art pour remarquer que la main du Christ dans *La Vocation de Saint Matthieu* de Caravage rappelle en miroir celle d'Adam dans *La Création d'Adam* de Michel-Ange, et inférer que Caravage prolonge symboliquement la création avec la vocation.

De la même manière, face à n'importe quel modèle scientifique, seul·e·s ceux ayant acquis les compétences nécessaires à son utilisation — majoritairement, les scientifiques du domaine d'où est issu le modèle en question — pourront l'employer pour réaliser des inférences à propos de sa cible. Par exemple, seule une personne maîtrisant (une importante partie de)

¹¹⁰ Mauricio SUAREZ, « An Inferential Conception of Scientific Representation », *Philosophy of Science*, *op. cit.*, p. 775.

¹¹¹ *Ibid.*, p. 770.

¹¹² *Ibid.*, p. 777.

l'outillage mathématique de la physique quantique sera capable de voir la fonction d'onde et de l'utiliser pour réaliser des inférences à propos de l'état quantique d'un système physique, mais il est également possible, comme c'est mon cas, de voir cette fonction, de savoir qu'il s'agit d'une représentation, de savoir même dans les grandes lignes ce qu'elle représente, mais d'être pourtant incapable de l'utiliser pour mener des raisonnements à propos de sa cible. On constate bien que les deux conditions sont conceptuellement distinctes, et la conception inférentielle est construite afin de le prendre en compte.

Conséquence directe de la distinction conceptuelle qu'elle introduit entre force représentationnelle et possibilité de réaliser des inférences, la conception inférentielle a, pour finir, l'avantage de gérer sans peine les cas où des représentations scientifiques sont utilisées par des personnes incompetentes ou insuffisamment informées¹¹³. Globalement, elle accorde une place importante à l'agentivité et les compétences des scientifiques dans la mesure où ils conçoivent et utilisent les modèles scientifiques, mais, contrairement à ce qu'ont fini par faire la conception structuraliste et celle par similarité, elle n'explique pas tout en termes d'agentivité ou d'intention, puisque la force représentationnelle ne dépend pas que des intentions des agents.

En adoptant une approche déflationniste et en donnant une place centrale aux pratiques, la conception inférentielle se protège de la plupart des attaques et ne répond pas à plusieurs des problèmes liés à la notion de représentation scientifique. Les questions ontologiques sont évitées, le problème de la précision est mis de côté, l'applicabilité des mathématiques n'est pas expliquée, et il en est de même pour l'existence de représentations très idéalisées, mais pour tous ces sujets, Suárez peut simplement répondre qu'il faut s'y intéresser en contexte et qu'on ne peut rien en dire dans l'absolu.

Pour le problème de la précision et l'existence de représentations idéalisées, il est même explicite dans son intention de les mettre de côté : la question à laquelle il décide de tenter de répondre avec sa conception inférentielle est uniquement celle de savoir en vertu de quoi un modèle représente sa cible, et, il affirme que c'est une question entièrement distincte de celle de savoir comment une représentation parvient à être une représentation exacte, complète, bonne, ou utile¹¹⁴. Les représentations permettent de réaliser des inférences à propos de leur cible, et c'est pour cela qu'elles sont des représentations, mais rien ne garantit que ces inférences mènent à des propositions vraies à propos de la cible. On peut néanmoins remarquer que la

¹¹³ *Ibid.*, p. 777–778.

¹¹⁴ *Ibid.*, p. 767.

conception inférentielle propose une caractérisation de la notion d'exactitude¹¹⁵ : plus une représentation permet de réaliser des inférences vraies à propos de sa cible, plus elle est précise, et elle est exacte si elle ne permet de réaliser que des inférences vraies. Par ailleurs, elle est complète si elle permet de tout savoir de sa cible¹¹⁶. Cette conception ne dit pas comment les représentations font pour avoir leurs vertus épistémiques, mais elle admet qu'elles en ont et corréle ces vertus à la capacité à permettre des inférences vraies.

5.3. La conception interprétative : avec Suárez, mais contre le déflationnisme

On peut se demander s'il est vraiment légitime ou nécessaire d'adopter une attitude déflationniste par rapport à la notion de représentation scientifique¹¹⁷. En effet, il semble que Suárez refuse la possibilité de proposer une analyse substantielle de la dimension représentationnelle des modèles sur base du constat de l'échec de la première formulation de la conception par similarité et de la conception structuraliste par isomorphisme, mais le fait que ces deux conceptions ne parviennent pas à rendre compte de manière satisfaisante de la notion de représentation ne permet pas d'affirmer de façon générale que toute tentative d'analyse substantielle de cette notion est vouée à l'échec¹¹⁸.

Contessa¹¹⁹ propose donc une conception inspirée de celle de Suárez, mais qui n'est pas déflationniste, et dans laquelle il introduit la notion d'interprétation d'un modèle en termes de sa cible comme condition nécessaire et suffisante à la représentation qu'il appelle la *conception interprétative*¹²⁰. Cela donne : un modèle M est une représentation de sa cible T pour un·e certain·e utilisateur·rice si et seulement si l'utilisateur·rice adopte une interprétation de M en termes de T ¹²¹.

Que signifie adopter une interprétation ici ? Cela se passe en plusieurs étapes. L'utilisateur·rice commence par identifier un ensemble d'objets pertinents dans le modèle et la cible, puis détermine un ensemble de propriétés et de relations que ces objets instancient dans le modèle et dans la cible. Ensuite, iel (a) stipule que M dénote (c'est-à-dire fait référence à) T , (b) prend chaque objet du modèle identifié comme pertinent pour dénoter un et un seul objet de

¹¹⁵ *Ibid.*, p. 776.

¹¹⁶ On peut supposer qu'alors les seules représentations complètes sont les cibles elles-mêmes.

¹¹⁷ Gabriele CONTESSA, « Scientific Representation, Interpretation, and Surrogative Reasoning », *Philosophy of Science*, vol. 74, n° 1, 2007, p. 50.

¹¹⁸ *Ibid.*

¹¹⁹ Gabriele CONTESSA, « Scientific Representation, Interpretation, and Surrogative Reasoning », *Philosophy of Science*, *op. cit.*

¹²⁰ *Ibid.*, p. 57.

¹²¹ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 5.3.

la cible identifié comme pertinent, (c) prend chaque propriété ou relation du modèle identifiée comme pertinente pour dénoter une et une seule propriété ou relation de la cible identifiée comme pertinente¹²².

Contrairement à la conception inférentielle, cette conception répond au problème de la représentation, puisqu'elle propose une analyse en termes de conditions nécessaires et suffisantes. Elle rend compte, comme la conception inférentielle cette fois-ci, de la directionnalité de la notion de représentation (M est interprété en termes de T et non l'inverse) et de la possibilité de réaliser des inférences à propos de la cible.

Cette conception reste cependant silencieuse au sujet du problème ontologique et peut sembler rencontrer des difficultés avec les représentations sans cible ainsi qu'avec les représentations ratées¹²³, en tout cas si on exige que la cible existe ou que les objets et relations imputées à la cible doivent vraiment y exister (ce qui semble plus exigeant que nécessaire). Concernant l'applicabilité des mathématiques, la conception interprétative se rapproche encore plus que la conception inférentielle de la conception structuraliste, il lui est donc possible de faire appel, comme la conception structuraliste, à la littérature déjà existante sur le sujet en philosophie des mathématiques¹²⁴. Finalement, par rapport aux représentations idéalisées, la conception interprétative n'en explique pas l'abondance dans les sciences et les éventuelles vertus épistémiques spécifiques, bien qu'elle ne les regarde pas *a priori* comme des erreurs de jugement ou des représentations ratées.

6. La conception fictionnelle : quand la science fait « comme si »

6.1. La conception fictionnelle directe de Toon

6.1.1. Les conceptions directes et indirectes

Jusqu'ici, les conceptions que j'ai analysées concevaient toujours la relation entre un modèle scientifique et sa cible comme une relation qu'on peut qualifier d'indirecte¹²⁵. Pour les conceptions indirectes de la représentation scientifique, il existe un objet ou un phénomène réel,

¹²² Gabriele CONTESSA, « Scientific Representation, Interpretation, and Surrogate Reasoning », *Philosophy of Science*, *op. cit.*, p. 57–62 ; Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 5.3.

¹²³ Elay SHECH, « Scientific misrepresentation and guides to ontology: the need for representational code and contents », *Synthese*, vol. 192, n° 11, 2015.

¹²⁴ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 5.3.

¹²⁵ Adam TOON, *Models as Make-Believe: Imagination, Fiction and Scientific Representation*, London, Palgrave Macmillan, 2012, p. 43.

la cible, que les scientifiques représentent grâce à un modèle, et c'est en décrivant le modèle grâce à des lois mathématiques ou des descriptions qualitatives qu'ils parviennent à mener des raisonnements à propos de la cible. C'est donc indirectement, à travers la description du modèle, que les scientifiques parviennent à atteindre la cible. Le modèle constitue lui-même pour ainsi dire un système qu'on peut étudier indépendamment de sa cible. Il peut être concret, comme dans le cas des modèles réduits par exemple, ou abstrait, comme dans le cas des idéalizations ou des modèles mathématisés. Pour certain·e·s auteur·rice·s, cette dimension indirecte est une des caractéristiques définitoires de la modélisation¹²⁶ : modéliser, c'est élaborer un système, concret ou non, à propos duquel on pourra établir des propositions vraies, propositions qu'on pourra ensuite utiliser pour raisonner à propos d'un système physique réel.

Pour les tenant·e·s de la conception fictionnelle directe des représentations scientifiques, que j'appellerai simplement *conception fictionnelle*, et pour Adam Toon en particulier, au contraire, il faut envisager les modèles comme des représentations directes de leur cible : décrire un modèle ne serait pas décrire un système qui n'existe pas pour ensuite utiliser ce système pour représenter une cible réelle, mais ce serait plutôt proposer une description imaginative de phénomènes ou objets réels¹²⁷. La description d'un modèle est directement la description de sa cible, il n'y a pas d'intermédiaire¹²⁸, mais c'est une description fictionnelle, elle nous demande d'accepter, sur le mode de la fiction, certaines propositions par ailleurs connues comme fausses à propos de la cible¹²⁹, de « faire comme si » la cible possédait telles caractéristiques, existait dans tel environnement, était soumise à telle loi, etc.

Dans ce cadre, cela n'a donc plus de sens de parler de la description d'un modèle, ou de ce se demander ce qui est vrai ou faux à propos d'un modèle. Le modèle du pendule simple ne décrit pas un pendule dont la corde n'a pas de masse et qui existe dans un milieu sans frottement et qu'on utiliserait pour représenter des pendules réels, il nous invite à imaginer, tout en sachant que c'est faux, que tel ou tel pendule réel a une corde sans masse et existe dans un milieu sans frottement¹³⁰, tout comme les romans et nouvelles de Conan Doyle nous invite à imaginer, tout en sachant que c'est faux, qu'un détective du nom de Sherlock Holmes à mener de nombreuses enquêtes dans le Londres de la fin du dix-neuvième siècle.

¹²⁶ Michael WEISBERG, « Who is a Modeler? », *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 58, n° 2, 2007.

¹²⁷ Arnon LEVY, « Models, Fictions, and Realism: Two Packages », *Philosophy of Science*, vol. 79, n° 5, 2012, p. 741.

¹²⁸ Arnon LEVY, « Modeling without models », *Philosophical Studies*, vol. 172, n° 3, 2015, p. 790.

¹²⁹ Adam TOON, *Models as Make-Believe: Imagination, Fiction and Scientific Representation*, op. cit., p. 43.

¹³⁰ Antoine BRANDELET, *Le réalisme scientifique à l'épreuve de la fiction* [en ligne], Thèse de doctorat, Université de Namur, Université de Mons, op. cit., p. 97–98.

6.1.2. La théorie du faire-comme-si de Walton : un jeu d'enfant

La conception fictionnelle de Toon s'inspire fortement de la théorie de la représentation dans les arts de Kendall L. Walton¹³¹. Pour Walton, les représentations sont les *supports* (*props*) de l'imagination dans des jeux de *make-believe* (que je traduirai par *faire-comme-si*)¹³². Son exemple paradigmatique est celui des jeux d'enfants¹³³ : imaginons qu'un groupe d'enfants, dans le cadre d'un jeu dans une cour de récréation, décide de faire comme si le sol était de la lave en fusion, et comme si les bancs de la cour étaient des rochers encore solides sur lesquels se réfugier. Dans ce cas, selon Walton, le sol et les bancs jouent le rôle de supports, et les conventions que les enfants établissent et qui permettent de savoir ce qui est de la lave et ce qui n'en est pas dans le jeu sont les *principes de génération*¹³⁴.

Les énoncés fictionnels, au sens de Walton, sont créés en associant les supports aux principes de génération¹³⁵ : j'utilise un support (ici, par exemple, le sol), et un principe de génération (le sol est de la lave), pour établir une proposition fictionnelle (que telle zone devant moi est de la lave en fusion et que je ferais mieux de l'éviter si je ne veux pas me brûler gravement). Il faut noter qu'une proposition fictionnelle n'est pas simplement une proposition imaginée par un des enfants dans le cadre du jeu. Par exemple, à partir du moment où les supports sont déterminés et que les principes de générations sont établis, tous les bancs de la cour deviennent des rochers entourés de lave, même les éventuels bancs ignorés par tous les enfants. La dimension fictionnelle d'un objet ou d'un énoncé ne dépend donc pas uniquement des états mentaux des personnes impliquées dans la fiction, de ce qu'elles imaginent effectivement, mais aussi de certaines conventions sociales et de certains états réels du monde.

Les propositions fictionnelles sont donc les propositions qu'un jeu de faire-comme-si nous invite à imaginer simplement parce qu'il a établi qu'il faut les imaginer¹³⁶. Elles sont indifférentes à la vérité, en ceci qu'elles peuvent tout autant être vraies que fausses. La proposition « si je marche à tel endroit, je vais me brûler mortellement » dans le cadre du jeu que je viens de décrire est évidemment fausse, mais il arrive aussi que des propositions

¹³¹ Kendall L. WALTON, *Mimesis as make-believe: on the foundations of the representational arts*, Harvard, Harvard University Press, 1990.

¹³² Antoine BRANDELET, *Le réalisme scientifique à l'épreuve de la fiction* [en ligne], Thèse de doctorat, Université de Namur, Université de Mons, *op. cit.*, p. 89–94.

¹³³ Adam TOON, « Models as Make-Believe », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, vol. 262, Dordrecht, Springer Netherlands, coll. « Boston Studies in the Philosophy of Science », 2010, p. 80.

¹³⁴ Kendall L. WALTON, *Mimesis as make-believe: on the foundations of the representational arts*, *op. cit.*, chap. 4.

¹³⁵ Adam TOON, « Models as Make-Believe », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, *op. cit.*, p. 80.

¹³⁶ *Ibid.*, p. 81.

fictionnelles soient vraies. Par exemple, quand Conan Doyle, dans ses romans, nous invite à faire comme si la capitale de l'Angleterre était Londres, il établit une proposition fictionnelle, mais celle-ci est vraie. Ce qui importe ici, et ce que permet de souligner la conception de Walton, c'est que cela n'a aucune forme d'importance, pour les romans de Conan Doyle en tant que fictions, que Londres existe réellement, et qu'elle soit vraiment la capitale de l'Angleterre. L'existence et le statut géopolitique de Londres font partie de la fiction, tout autant que le personnage de Sherlock Holmes, et la fiction nous invite à croire certaines propositions à propos de la ville comme du célèbre détective, qu'importe par ailleurs le statut de vérité de ces propositions par rapport au monde réel.

6.1.3. Des fictions aux modèles scientifiques

La proposition de la conception fictionnelle des représentations scientifiques est d'appliquer la conception élaborée par Walton à la question des représentations scientifiques. L'idée est la suivante : les modèles scientifiques fonctionnent en tant que supports dans des jeux de faire-comme-si¹³⁷. Le modèle réduit d'un pont, accompagné de conventions, comme son échelle par exemple, nous invite à faire comme s'il était le vrai pont, et donc que ce dernier fait une certaine longueur, possède un certain nombre d'arches, etc. Dans le cas des modèles physiques comme les modèles réduits, le support qui permet de faire « comme si » est l'objet physique réel qui sert de modèle, dans celui des modèles abstraits et théoriques, ce sont des lois et une description qui servent de support¹³⁸. Les modèles représentent parce qu'ils sont des supports dans des jeux de faire-comme-si, c'est-à-dire qu'ils nous invitent à imaginer des choses grâce à des principes de génération établis par convention implicite ou non. Les choses qu'ils nous invitent à imaginer sont fictionnelles, non au sens où elles seraient forcément fausses (bien que de nombreuses le soient), mais au sens où elles sont imaginées simplement parce que le modèle nous invite à les imaginer.

On obtient la définition des représentations scientifiques suivante : un modèle M est une représentation si et seulement M occupe la fonction de support dans un jeu de faire-comme-si¹³⁹. On peut directement préciser cette définition pour intégrer le fait qu'un modèle a généralement une cible en disant : un modèle M est une représentation de sa cible T si et seulement si M occupe la fonction de support dans un jeu de faire-comme-si dans lequel les propositions à propos de T sont fictionnelles au sens de Walton (c'est-à-dire sont générées grâce

¹³⁷ *Ibid.*, p. 82.

¹³⁸ *Ibid.*, p. 82–83.

¹³⁹ *Ibid.*, p. 83 ; Adam TOON, *Models as Make-Believe: Imagination, Fiction and Scientific Representation*, op. cit., p. 63.

au modèle et à des principes de génération). Toon précise cependant que le cœur de la conception fictionnelle reste la première formulation, car, comme je le détaillerai plus loin, elle permet de rendre compte des modèles sans cible¹⁴⁰.

6.1.4. Les forces de la conception fictionnelle

La conception fictionnelle possède plusieurs avantages et parvient à rendre compte de plusieurs caractéristiques des représentations scientifiques. Premièrement, elle est asymétrique, et intègre donc la caractéristique de directionnalité¹⁴¹ : un modèle sert de support dans un jeu de faire-comme-si à propos de sa cible, mais la cible ne sert pas de support dans un jeu à propos de son modèle.

Deuxièmement, concernant la précision et l'exactitude des représentations, la conception de Toon ne peut pas aborder ces notions comme les autres conceptions, pour lesquelles un modèle est un système indépendant de sa cible et qui d'autant plus précis qu'il correspond à sa cible. Dans la mesure où la conception fictionnelle est une conception pour laquelle parler de description d'un modèle n'a pas de sens, puisqu'il n'existe pas de « système du modèle », mais qu'un modèle est directement une description fictionnelle au sens de Walton de sa cible, une analyse en termes de correspondance entre deux systèmes est impossible. On a plutôt qu'un modèle est exact par rapport à sa cible si et seulement si les propositions fictionnelles qu'il nous invite à générer à propos de sa cible sont vraies¹⁴².

Troisièmement, concernant l'existence de représentations ratées, la conception fictionnelle les prend en compte sans difficulté, puisque, selon elle, un modèle représente sa cible en nous invitant à générer des propositions fictionnelles au sens de Walton à son propos, et que les propositions fictionnelles peuvent être vraies comme fausses. Cette conception fait donc bien la différence entre les représentations ratées (celles qui nous invitent à générer des propositions fausses à propos de leur cible) et les non-représentations (les objets qui ne nous invitent pas à générer de propositions fictionnelles du tout)¹⁴³.

Par exemple, les propositions fictionnelles au sens de Walton que le modèle héliocentrique de Copernic nous invite à générer à propos du système solaire réel sont à la fois vraies et fausses, et cela n'en fait pas une non-représentation, mais plutôt une représentation

¹⁴⁰ Adam TOON, « Models as Make-Believe », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, op. cit., p. 84.

¹⁴¹ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 6.

¹⁴² Adam TOON, « Models as Make-Believe », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, op. cit., p. 87.

¹⁴³ *Ibid.*, p. 86.

ratée (notamment par rapport aux modèles qui lui succéderont). Pour Toon, en utilisant le modèle héliocentrique de Copernic pour inférer des raisonnements à propos du système solaire réel, nous nous servons de ce modèle en tant que support dans un jeu qui nous invite à faire comme si, notamment, 1) les orbites des planètes autour du Soleil étaient parfaitement circulaires, et 2) l'orbite de Saturne se trouvait plus loin du Soleil que celui de Vénus. Ces deux affirmations, en tant qu'elles sont générées par l'utilisation du modèle, sont fictionnelles, pourtant, la première est fausse et la seconde, vraie. La conception fictionnelle est donc capable d'expliquer pourquoi de nombreux modèles représentent de façon inexacte leur cible sans que cela fasse d'eux des non-représentations.

Quatrièmement, Toon rejette dans une certaine mesure le problème de la démarcation¹⁴⁴. Les objets d'analyse de Walton sont pour la grande majorité des œuvres artistiques : films, romans, peintures, etc. Dans cette mesure, importer sa conception de la philosophie de l'art à celle des sciences implique d'établir un parallèle entre les représentations artistiques et les représentations scientifiques, et donc de rejeter la thèse selon laquelle les représentations scientifiques sont essentiellement différentes des autres représentations. Bien entendu, il existe de nombreuses différences entre la plupart des modèles scientifiques et la plupart des représentations artistiques, mais Toon pense que, sur un spectre qui va des représentations artistiques aux représentations scientifiques, l'endroit où l'on passerait de l'une à l'autre est tout sauf clair, voire que cet endroit n'existe pas.

Une des raisons de cela est l'existence de modèles scientifiques très idéalisés. En effet, beaucoup de bons modèles nous invitent à générer de nombreuses propositions fausses à propos de leur cible, et certaines œuvres artistiques, au contraire, nous font générer avant tout des propositions vraies à propos de leur cible. Par exemple, il semble que le modèle d'Hardy-Weinberg en génétique des populations, qui, dans les termes de Toon, nous invite à faire comme si les populations étaient de taille infinie, comme si les individus de deux générations différentes ne se pouvaient pas se reproduire ensemble, comme si les couples se formaient au hasard, et comme si la sélection naturelle, les mutations et la migration n'existaient pas, fait générer beaucoup plus de propositions fausses à propos des populations que le portrait de Napoléon Bonaparte par Delaroche n'en fait générer à propos du premier empereur de France. Il n'est donc pas possible de distinguer les représentations scientifiques des représentations artistiques grâce à la proportion de propositions vraies à propos de la cible que la représentation invite à générer.

¹⁴⁴ *Ibid.*, p. 87–88.

Cinquièmement, la conception de Toon dissout le problème ontologique¹⁴⁵, puisque, selon elle, les représentations scientifiques ne sont pas des objets en soi et ont pour véhicule soit des objets concrets, soit des descriptions. Ni les objets concrets ni les descriptions n'étant des objets ontologiquement problématiques dans ce cadre, le problème ontologique devient un non-problème. Il faut cependant noter que Toon assimile les descriptions mathématiques aux descriptions en général, mais ne dit rien de l'applicabilité des mathématiques en particulier.

Sixièmement et dernièrement, la conception fictionnelle parvient à rendre compte des représentations sans cible, quel que soit leur type. Comme nous l'avons déjà vu, il existe des modèles sans cible qui le sont parce qu'il a été cru à tort que leur cible existait, comme le modèle de l'éther luminifère ou celui du phlogiston. Cependant, Toon affirme que ce ne sont pas les seuls modèles à être sans cible, et que les représentations scientifiques sans cible sont en réalité bien plus courantes qu'on ne pourrait le croire¹⁴⁶. En effet, d'une certaine manière, les très nombreux modèles scientifiques qui modélisent un *type* d'objet plutôt qu'un objet spécifique sont, tant qu'on ne les utilise pas pour représenter un objet en particulier, sans cible. Les modèles atomiques ne représentent pas un atome en particulier, mais les atomes en général, ou un type d'atome (l'hydrogène par exemple) en général. Il en va de même pour la loi des gaz parfaits avec le comportement des gaz, pour le modèle du pendule simple avec les pendules, ou pour la machine de Phillips-Newlyn et les économies. Chacune de ces représentations est conçue pour représenter un type d'objet et ne cesse pas d'être une représentation lorsqu'elle n'est pas utilisée pour représenter un objet particulier. Nous pourrions ne jamais utiliser le modèle du pendule simple pour représenter un pendule (et donc faire de lui une représentation sans cible), il n'en resterait pas moins une représentation.

La conception fictionnelle ne rencontre aucune difficulté avec ces cas de figure¹⁴⁷. Son cœur étant qu'un modèle sert de support dans un jeu de faire-comme-si et permet donc, couplé à des principes de génération, de générer des propositions fictionnelles au sens de Walton, cette conception n'exige à aucun moment qu'il existe un objet à propos duquel un modèle donné permet de générer des propositions fictionnelles. Le modèle de l'éther luminifère nous invite à faire comme si l'éther était au repos de la même manière que la mythologie grecque nous invite à faire comme si Pégase était un cheval ailé, quand bien même ni l'éther ni Pégase n'existent.

¹⁴⁵ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 6.

¹⁴⁶ Adam TOON, « Models as Make-Believe », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, *op. cit.*, p. 88–92.

¹⁴⁷ *Ibid.*, p. 94.

Le phlogiston et l'éther ont d'une certaine manière le même statut ontologique que des personnages fictifs.

6.1.5. Le coût ontologique et la possibilité de raisonnement inférentiel

Cette dernière thèse concernant les cibles inexistantes vient avec d'importantes questions ontologiques. Si l'éther et Pégase sont des entités fictives, comment existent-elles ? Quel est leur statut ontologique ? Considérer les entités fictives comme des entités qui existent réellement vient avec un coût ontologique très important, alors que la conception fictionnelle se voulait justement ontologiquement parcimonieuse, mais affirmer au contraire que ces entités n'existent tout simplement pas rend complexe à expliquer le fait que certaines propositions à leur sujet soient vraies, et d'autres fausses. Si les entités fictives n'existent pas, alors toute proposition à leur sujet devrait être ni vraie ni fausse. Les tenants de la conception fictionnelle peuvent déferer cette question au domaine de recherche qu'est l'ontologie de la fiction¹⁴⁸, mais il leur est également possible, comme Levy, d'adopter la thèse radicale que les représentations scientifiques sans cibles ne sont tout simplement pas des représentations¹⁴⁹. Cette solution me semble nonobstant peu satisfaisante dans la mesure où de nombreux modèles scientifiques ne possèdent pas de cible, et ceci parfois de façon tout à fait volontaire.

Malgré tous ces avantages, la conception fictionnelle n'est pas claire quant à la relation qui existe entre les énoncés fictionnels qu'un modèle nous invite à générer à propos d'une cible et ceux qu'il faut, en utilisant le modèle, réellement inférer à propos de la cible¹⁵⁰. Nous avons vu que de nombreux modèles nous invitent à générer à la fois des propositions vraies et fausses à propos de leurs cibles, mais il ne faut vraisemblablement inférer parmi ces propositions que celles qui sont vraies. Pour la conception fictionnelle, la proposition « les proies ont accès à une quantité illimitée de nourriture » et « les populations de proies et de prédateurs ont tendance à osciller, quand il y a moins de proies, il y a moins de prédateurs, et inversement » ont exactement le même statut : elles sont toutes les deux des propositions que les équations de Lotka-Volterra nous invitent à faire comme si elles étaient vraies. Pourtant la première est fausse de toute population réelle, alors que la seconde ne l'est pas de la majorité des populations, et le

¹⁴⁸ Quelques introductions sur le sujet du statut ontologique des entités fictives : Stacie FRIEND, « Fictional characters », *Philosophy Compass*, vol. 2, n° 2, 2007 ; Fiora SALIS, « Fictional Entities », dans João BRANQUINHO et Ricardo SANTOS (éds.), *Online Companion to Problems in Analytic Philosophy*, Lisbon, Centre of Philosophy, University of Lisbon, 2013 ; Fred KROON, Alberto VOLTOLINI, article « Fictional entities » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall 2023, Stanford, Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2023, URL: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2023/entries/fictional-entities/>.

¹⁴⁹ Arnon LEVY, « Modeling without models », *Philosophical Studies*, *op. cit.*, p. 96–97.

¹⁵⁰ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, *op. cit.*, sect. 6.

modèle proie-prédateur de Lotka-Volterra souhaite vraisemblablement que nous croyions la seconde, mais pas la première. La conception fictionnelle est incapable d'expliquer cette différence.

Levy propose, pour remédier à cette difficulté dans la conception de Toon, de faire appel à la notion de vérité partielle développée par Yablo¹⁵¹. Son idée est que les propositions fictionnelles au sens de Walton que les modèles nous invitent à générer sont, vis-à-vis de la cible, partiellement vraies¹⁵². Une proposition est partiellement vraie si et seulement si, parmi les propositions qu'elle implique (elle-même comprise), certaines sont entièrement vraies¹⁵³. Il ne faut donc pas confondre la notion de vérité partielle avec celle de vérité approximative, pour laquelle une proposition est approximativement vraie si et seulement si elle est a strictement parlé fausse, mais est néanmoins proche de la vérité. Cette solution parvient en effet à rendre compte du fait que de nombreuses propositions fictionnelles que certains modèles nous invitent à générer sont partiellement vraies, mais il semble toujours avoir du mal avec les modèles très idéalisés ou contenant de fortes distorsions¹⁵⁴. Il arrive que les propositions que ces modèles nous invitent à générer ne soient même pas partiellement vraies, on ne sait donc pas comment les envisager avec la conception fictionnelle amendée par Levy.

6.2. Une autre utilisation de la fiction : le statut ontologique des modèles

Une seconde utilisation de la notion de fiction dans la littérature philosophique sur les représentations scientifiques, qui consiste à dire que de nombreux systèmes que décrivent les scientifiques quand iels utilisent leurs modèles sont des fictions, existe en parallèle de la conception de Toon. Cette thèse se veut être une réponse au problème ontologique, et, à l'exception de la conception fictionnelle de Toon, elle est compatible avec toutes les conceptions de la représentation scientifique. Comme nous l'avons déjà vu, beaucoup de modèles possèdent des idéalizations, des distorsions ou des approximations, et il arrive très souvent que les systèmes décrits par les scientifiques soient décrits comme s'ils existaient alors que cela n'est pas le cas¹⁵⁵. Par exemple, le modèle du pendule simple est un système avec une corde sans masse, celui d'Hardy-Weinberg, un système avec une population infinie, et celui de l'agent·e rationnel·le en économie, un système selon lequel les humains sont des agent·e·s

¹⁵¹ Stephen YABLO, *Aboutness*, Princeton and Oxford, Princeton University Press, coll. « Carl G. Hempel lecture series », 2014.

¹⁵² Arnon LEVY, « Modeling without models », *Philosophical Studies*, op. cit., p. 792–795.

¹⁵³ Stephen YABLO, *Aboutness*, op. cit., p. 12–15.

¹⁵⁴ Roman FRIGG, James NGUYEN, article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, op. cit., sect. 6.

¹⁵⁵ Martin THOMSON-JONES, « Missing systems and the face value practice », *Synthese*, vol. 172, n° 2, 2010, p. 284.

toujours rationnel·le·s qui ont un accès parfait à l'information. Ces systèmes n'existent pas, et les scientifiques qui les décrivent le savent. Pourtant, ces mêmes scientifiques parlent de ces systèmes et utilisent ces modèles comme s'ils existaient réellement¹⁵⁶. Comment peuvent-ils parler de systèmes qui n'existent pas comme s'ils existaient, et surtout, les propositions à propos de ces systèmes ont-elles une valeur de vérité ?

Pour expliquer cet apparent paradoxe et répondre à ces questions, certain·e·s philosophes¹⁵⁷ avancent la thèse que les pendules simples, les gaz parfaits, les populations décrites par les équations d'Hardy Weinberg, les agent·e·s rationnel·le·s et parfaitement informé·e·s, et les autres objets et systèmes inexistant décrits par les scientifiques sont à comprendre comme nous comprenons les personnages de fictions, et que les propositions à propos de ces systèmes sont vraies et fausses de la même manière que les propositions à propos des personnages de fiction le sont. Si la thèse selon laquelle les systèmes inexistant sont des entités de fiction est vraie, alors les propositions « Mary Shelley a créé la créature de Frankenstein » et « Hardy a créé une population infinie », toutes les deux vraies hors de la fiction, sont vraies pour les mêmes raisons, et il en va de même pour les propositions « Fantasio est un journaliste » et « les molécules d'un gaz parfait sont des masses ponctuelles sans volume », toutes les deux vraies dans leur fiction respective.

Nous pouvons noter deux choses à propos de cette réponse au problème ontologique. Premièrement, elle utilise une analogie qui existe depuis désormais plus d'un siècle¹⁵⁸. Deuxièmement, elle délègue le problème à l'ontologie de la fiction, et permet donc aux philosophes des sciences de faire appel à la littérature existant déjà dans ce domaine. Il faut cependant souligner que cette réponse ne fait pas pleinement consensus, certain·e·s philosophes considèrent qu'il faut rejeter l'analogie entre les modèles scientifiques et les œuvres de fiction¹⁵⁹.

¹⁵⁶ *Ibid.*, p. 785.

¹⁵⁷ Notamment Peter GODFREY-SMITH, « The strategy of model-based science », *Biology & Philosophy*, *op. cit.* ; Roman FRIGG, James NGUYEN, « Seven Myths About the Fiction View of Models », dans Alejandro CASSINI et Juan REDMOND (éds.), *Models and Idealizations in Science: Artifactual and Fictional Approaches*, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2021 ; Fiora SALIS, « The New Fiction View of Models », *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 72, n° 3, 2021.

¹⁵⁸ On retrouve des analogies entre les modèles scientifiques et les œuvres de fiction notamment dans Hans VAHINGER, *The Philosophy of 'as If' : A System of the Theoretical, Practical, and Religious Fictions of Mankind*, London, Kegan Paul, 1924 ; Nancy CARTWRIGHT, *How the laws of physics lie*, Oxford and New York, Clarendon Press ; Oxford University Press, 1983.

¹⁵⁹ Ronald N. GIERE, « Why Scientific Models Should Not Be Regarded as Works of Fiction », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science : philosophical essays on modeling and idealization*, New York, Routledge, coll. « Routledge studies in the philosophy of science » 4, 2009 ; Lorenzo MAGNANI, « Scientific Models Are Not Fictions: Model-Based Science as Epistemic Warfare », dans Lorenzo MAGNANI et Li PING (éds.), *Philosophy and Cognitive Science : Western and Eastern Studies*, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2012, par exemple.

Nous avons vu que Toon faisait également appel à l'ontologie de la fiction pour expliquer le statut ontologique des cibles des représentations sans cibles. Il convient de bien différencier son utilisation de l'ontologie de la fiction et celle dont je parle ici. La conception de Toon est directe : il dit que les modèles scientifiques sont directement des descriptions de leur cible, pas des objets abstraits, et que les cibles de modèles sans cibles sont des fictions. Cette autre utilisation repose sur une conception indirecte : elle dit que les modèles non matériels sont des objets abstraits, des constructions théoriques que les scientifiques utilisent pour représenter leur cible, et que ces objets abstraits sont des fictions. Il s'agit donc de deux utilisations incompatibles de l'ontologie de la fiction, mais qui trouvent certaines de leurs ressources dans la même littérature.

7. La conception DDI : les modèles sont des outils

Pour la conception DDI des représentations scientifiques de Richard Hughes, les modèles, en tant qu'ils sont des représentations, sont avant tout des outils à comprendre à travers leur utilisation, et cette dernière implique trois éléments principaux, dont les initiales sont la raison du nom de la conception : une dénotation, une démonstration, et une interprétation¹⁶⁰. La conception DDI propose que, si nous analysons l'acte de représentation qu'implique l'utilisation d'un modèle avec ces trois notions à l'esprit, nous serons plus à même de comprendre ce qu'il se passe quand les scientifiques utilisent des modèles, mais refuse de prendre la dénotation, la démonstration et l'interprétation comme les conditions individuellement nécessaires et conjointement suffisantes pour qu'un modèle représente sa cible, ce qui est une position plus modeste que celle des autres conceptions qui cherchent justement à déterminer ces conditions (ou uniquement les conditions nécessaires pour la conception inférentielle).

7.1. La dénotation

En toute généralité, la dénotation est le fait pour un symbole de désigner quelque chose ou de faire référence à quelque chose. Le mot « canard » dénote l'ensemble des canards ou un canard particulier, un panneau rond rouge coupé horizontalement en son milieu par une bande blanche dénote l'interdiction d'accéder à une route dans un certain sens, etc. Dans le cas des représentations en général, et des modèles scientifiques en particulier, il s'agit pour Hughes de souligner que pour qu'un modèle représente sa cible, il doit la dénoter. Hughes reprend

¹⁶⁰ R. I. G. HUGHES, « Models and Representation », dans *The theoretical practices of physics: philosophical essays*, Oxford, Oxford University Press, 2010, p. 153.

explicitement la thèse de Goodman¹⁶¹ qui met la dénotation au cœur de la notion de représentation¹⁶². C'est la dénotation qui permet d'expliquer la caractéristique de directionnalité : une représentation dénote sa cible, mais une cible ne dénote pas sa représentation.

On peut se demander comment cela fonctionne pour les modèles dont la cible n'est, avant application, pas un système en particulier, mais un type de système, ou pour les théories scientifiques, dont la portée est souvent plus générale que celle des modèles. Tout d'abord, quelque chose peut dénoter un type d'objet plutôt qu'un objet en particulier¹⁶³ : une illustration de chrysanthème horticole dans une encyclopédie de biologie végétale dénote le type chrysanthème et non une plante en particulier, il en va de même pour le modèle du pendule simple avec les pendules réels ou les modèles atomiques avec les atomes. Ensuite, pour Hughes, appliquer une théorie revient essentiellement à suivre un ensemble d'instructions pour élaborer des modèles, que ce soit de systèmes particuliers ou de types de système¹⁶⁴. Le caractère général des théories et le fait que certaines peuvent s'appliquer à un grand nombre de systèmes parfois très différents ne posent donc pas de difficulté particulière. Dans ce cadre, utiliser une théorie ou un modèle implique toujours de dénoter un système ou un type de système, c'est quand un modèle particulier est utilisé pour représenter une cible particulière que la dénotation rentre en jeu. Hughes s'intéressant aux représentations scientifiques en tant qu'outils que les scientifiques utilisent pour représenter des objets ou phénomènes du monde réel, il peut légitimement intégrer la notion de dénotation dans sa conception.

7.2. La démonstration

La démonstration est le processus par lequel un modèle est utilisé pour obtenir des résultats. C'est un processus dynamique entièrement interne au modèle : une scientifique rentre dans le modèle un certain nombre de conditions initiales, puis, s'il s'agit d'un modèle concret, un bassin à vague dans un laboratoire de physique des fluides par exemple, iel observe comment il se comporte, et s'il s'agit d'un modèle mathématisé, les lois de la mécanique des fluides par exemple, iel résout les équations à résoudre. Dans un cas comme dans l'autre, la scientifique aura utilisé le modèle pour aller de données initiales à un résultat nouveau et éventuellement

¹⁶¹ Nelson GOODMAN, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, op. cit., p. 5.

¹⁶² R. I. G. HUGHES, « Models and Representation », dans *The theoretical practices of physics: philosophical essays*, op. cit., p. 156.

¹⁶³ *Ibid.*, p. 157.

¹⁶⁴ *Ibid.*, p. 158.

inattendu. C'est par ce processus que les modèles peuvent être utilisés pour découvrir des nouveautés inattendues à propos de leur cible¹⁶⁵.

Hughes affirme qu'utiliser un modèle consiste toujours à représenter un système (la cible) en tant qu'un autre système (le modèle)¹⁶⁶, c'est-à-dire à penser un système cible dans les termes d'un autre système. Pour que ce soit possible, il faut que le modèle constitue un système distinct de sa cible dont les scientifiques peuvent étudier le comportement indépendamment de celui de la cible. Une fois les conditions initiales intégrées à un modèle de circulation générale atmosphérique, il est possible d'observer comment le modèle évolue sans jamais le comparer à l'évolution réelle du climat, par exemple. Dans l'utilisation du modèle, cette comparaison vient dans un second temps. Démontrer avec un modèle consiste donc à l'utiliser pour générer des réponses aux questions que nous lui posons¹⁶⁷.

7.3. L'interprétation

Si la démonstration est un processus entièrement interne au modèle, alors les résultats obtenus grâce à elle sont des résultats à propos du modèle, et non à propos de sa cible. Les résultats obtenus en résolvant la seconde loi de Newton sont mathématiques et non physiques, et les résultats obtenus grâce à un modèle réduit du système solaire sont à propos de ce modèle, pas du système solaire lui-même. Or, les scientifiques souhaitent que ce ne soit pas le cas, ils veulent parler de la cible. Pour que ce soit possible, il leur faut passer par la dernière étape d'utilisation d'un modèle pour la conception DDI : l'interprétation.

C'est en interprétant les résultats du modèle dans les termes de la cible qu'il est finalement possible de découvrir des nouveautés à propos de la cible et pas uniquement à propos du modèle, et de regarder à quel point le modèle est précis¹⁶⁸. Là où la dénotation permet d'établir un premier lien entre la cible et le modèle, c'est l'interprétation qui permet de retourner du modèle à la cible.

7.4. Les avantages de la conception DDI

Nous l'avons vu, la conception DDI est à comprendre comme portant sur les modèles en tant qu'outils. Hughes porte une attention particulière sur ce que font les scientifiques avec leurs modèles, et en ceci, sa conception a l'avantage de mettre en avant explicitement la dimension dynamique des modèles scientifiques. Les modèles, quand ils sont utilisés dans la

¹⁶⁵ *Ibid.*, p. 159.

¹⁶⁶ *Ibid.*, p. 158.

¹⁶⁷ *Ibid.*, p. 159.

¹⁶⁸ *Ibid.*, p. 160.

recherche, ne sont pas des entités figées, mais doivent être manipulés pour remplir pleinement leur rôle représentationnel. Hughes nous invite à voir sa conception comme la description de ce qu'il se passe lorsqu'un·e scientifique utilise un modèle pour représenter un objet ou un système réel et mener des raisonnements à son propos. Læ scientifique commence par stipuler que le modèle dénote sa cible, iel utilise ensuite le modèle pour mener certains raisonnements en son sein, et enfin, iel interprète les résultats obtenus dans le modèle comme des résultats de la cible¹⁶⁹. Ce schéma, bien que minimaliste, semble globalement correct.

En outre, elle parvient à rendre compte de certaines des caractéristiques générales des représentations scientifiques. La directionnalité est assurée par la dénotation, et le raisonnement inférentiel est pris en charge par la combinaison de la démonstration et de l'interprétation. Plus précisément, la démonstration correspond au raisonnement, et l'interprétation à l'inférence des résultats du modèle vers la cible. Enfin, le problème de la démarcation est rejeté, puisque Hughes fait appel aux travaux de Goodman en philosophie de l'art et établi des parallèles entre les œuvres picturales et les représentations scientifiques¹⁷⁰, le problème de la précision est partiellement pris en compte puisque l'interprétation est censée permettre d'évaluer à quel point un modèle parvient à représenter précisément sa cible, et la possibilité des représentations ratées est prise en compte puisque rien dans la conception DDI ne contraint la démonstration et l'interprétation à ne fournir que des résultats exacts vis-à-vis de la cible.

7.5. Une conception qui s'arrête trop tôt

Hughes dit explicitement que les trois caractéristiques des représentations scientifiques qu'il met en avant ne sont pas à prendre comme des conditions nécessaires et suffisantes pour qu'un modèle représente sa cible, la conception DDI ne répond donc volontairement pas au problème de la représentation et ne prend pas en compte certaines caractéristiques des représentations, mais, dans la mesure où elle semble avoir certaines intuitions exactes, on peut se demander ce qui lui manque pour qu'elle le fasse.

Hughes ne s'intéresse pas explicitement au problème des types de modèles, mais il semble qu'il en distingue au moins deux : les modèles concrets et les modèles abstraits. Au sujet des modèles abstraits, il parle beaucoup de modèles mathématisés, mais n'explique jamais vraiment l'applicabilité des mathématiques. Il ne s'intéresse pas au problème ontologique.

¹⁶⁹ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 140.

¹⁷⁰ R. I. G. HUGHES, « Models and Representation », dans *The theoretical practices of physics: philosophical essays*, *op. cit.*, p. 158.

Concernant le problème de la représentation, il est possible de se séparer de la modestie de Hughes et d'en proposer une réponse en intégrant, comme cela a été fait pour les conceptions structuralistes et par similarité, les agent·e·s et leurs intentions. Cela donnerait quelque chose de la forme suivante : un modèle M représente sa cible T si et seulement si (i) M dénote T , (ii) un·e agent·e exploite la dynamique interne de M pour réaliser des démonstrations, et (iii) l'agent·e interprète les résultats de la démonstration comme étant à propos de T ¹⁷¹. Exprimer la conception DDI ainsi ne rend pas pleinement honneur aux intentions de Hughes, mais permet de comprendre plus précisément pourquoi elle n'est pas une réponse satisfaisante au problème de la représentation, et donc d'envisager des pistes de solution pour qu'elle le devienne éventuellement.

Quelles sont les difficultés de la conception DDI ? En premier lieu, elle n'autorise pas l'existence de représentations sans cible. Pour qu'un objet en dénote un autre, il faut que les deux existent, les modèles ne dénotant aucune cible ne sont donc pas des représentations sous cette conception. Ensuite, (ii) semble impliquer qu'un modèle ne représente sa cible que lorsqu'on l'utilise pour mener des raisonnements. Ceci est assez contre-intuitif : la simulation informatique d'une foule ne cesse pas d'être la représentation d'une foule si personne ne l'utilise pour démontrer quelque chose, et, de même, le tableau *Sarah Siddons en muse de la Tragédie* de Reynolds, que Hughes prend comme exemple paradigmatique du genre de représentation auxquelles appartiennent les représentations scientifiques¹⁷², ne cesse pas de représenter Siddons si personne ne le regarde ou ne l'interprète.

Bien entendu, c'est parce que Hughes se concentre sur les modèles en tant que représentations utilisées par les scientifiques dans leurs recherches qu'il insiste ainsi sur la dénotation et la démonstration, quand bien même un modèle peut être une représentation sans rien dénoter et sans être utilisé pour démontrer quoi que ce soit. Néanmoins, il est possible d'amender la conception de Hughes pour pallier ces défauts et en faire une conception plus complète de la notion de représentation scientifique en remplaçant la dénotation simple par la fonction de dénotation, ou la capacité de dénotation, et la démonstration par le potentiel démonstratif¹⁷³.

On aurait une nouvelle formulation de la conception DDI : un modèle M représente sa cible T si et seulement si (i) la capacité de dénotation de M pointe vers T , (ii) un·e agent·e peut

¹⁷¹ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 141.

¹⁷² R. I. G. HUGHES, « Models and Representation », dans *The theoretical practices of physics: philosophical essays*, *op. cit.*, p. 158.

¹⁷³ Mauricio SUAREZ, « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, *op. cit.*, p. 97.

exploiter la dynamique interne de M pour réaliser des démonstrations, et (iii) l'agent·e peut interpréter les résultats de la démonstration comme étant à propos de T . La conception obtenue est plus complexe que la simple conception DDI, mais elle est également plus exacte. Il lui reste néanmoins un important défaut. Elle ne permet cependant pas de comprendre pleinement comment la dénotation est établie, ou comment les modèles permettent le raisonnement inférentiel, elle souligne seulement qu'ils ont ces capacités. Si, comme l'affirme Suárez¹⁷⁴, la conception DDI est à rapprocher de la conception inférentielle, alors peut-être Hughes peut-il reprendre certains arguments déflationnistes pour contrer ces critiques, mais dans ce cas la plupart des critiques faites à la conception inférentielle pourraient être faites à la conception DDI, et le mystère quant à ce que cela signifie exactement d'utiliser un modèle pour démontrer quelque chose ou pour l'interpréter dans les termes de sa cible resterait entier¹⁷⁵.

8. Conclusion

Dans cette partie, j'ai présenté et analysé six conceptions différentes de la représentation scientifique : la conception de Callender et Cohen, la conception par similarité, la conception structuraliste, la conception inférentielle, la conception fictionnelle, et enfin la conception DDI. Ces différentes conceptions possèdent chacune des qualités et des défauts, et j'ai pu montrer qu'aucune n'est pleinement satisfaisante. Dans la partie suivante, je présente et analyse en détail une dernière conception qui, dans sa version la plus aboutie, se nomme la conception DEKI, et qui, il me semble, remplit adéquatement les conditions qu'une conception de la représentation scientifique doit remplir. Crucialement, la conception DEKI prend en compte l'existence de représentations idéalisées, caractéristique avec laquelle les autres conceptions ont plus de difficultés.

¹⁷⁴ Mauricio SUAREZ, « Deflationary representation, inference, and practice », *Studies in History and Philosophy of Science*, *op. cit.*, p. 41.

¹⁷⁵ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 142.

Partie 2 : la *representation as* et la conception DEKI

L'objectif d'un modèle n'est pas d'être réaliste. Après tout, nous possédons déjà un modèle complètement réaliste : le monde lui-même. Le problème avec ce « modèle » est qu'il est trop compliqué pour être compréhensible [...] Ce n'est que lorsqu'un postulat simplificateur aboutit à un modèle qui fournit des réponses incorrectes aux questions auxquelles il est censé répondre que son manque de réalisme peut être considéré comme une imperfection [...] Sinon, son manque de réalisme est une vertu.

— David Romer

1. Elgin et la *representation as*

1.1. Que faire des idéalizations ?

Nous l'avons vu, les représentations scientifiques ne sont pas de simples miroirs de la réalité. Selon un plus ou moins grand nombre d'aspects et de caractéristiques, elles s'écartent, parfois énormément, des objets et phénomènes qu'elles cherchent à représenter. Le modèle du pendule physique néglige les frottements du pivot et le poids de la corde, celui d'Hardy-Weinberg en génétique des populations néglige les mutations et la migration et envisage une population infinie, les modèles réduits négligent (au moins partiellement) l'influence des dimensions réelles de leur cible et de la matière exacte qui la compose (de la terre et de la roche plutôt que du plastique et du métal par exemple), et il en va de même pour les cartes géographiques.

La solution de la majorité des théories de la représentation scientifique est de voir les représentations qui négligent et idéalisent comme des représentations (partiellement) ratées. Les écarts entre un modèle et sa cible sont perçus comme un défaut que la science finira progressivement par effacer, se rapprochant toujours plus de la correspondance parfaite entre le modèle et sa cible, ou éventuellement comme une nécessité due à l'incapacité humaine de saisir le monde physique tel qu'il est réellement, dans toute sa complexité¹⁷⁶. La conception par similarité nous dit qu'un modèle est d'autant meilleur qu'il est similaire à sa cible, la conception structuraliste affirme que les modèles doivent autant que possible avoir une structure proche de celle de leur cible, la conception inférentielle veut que les meilleurs modèles soient ceux qui nous permettent de ne réaliser que des inférences vraies à propos de leur cible, la conception fictionnelle suggère que la qualité d'un modèle se mesure à sa capacité à nous inviter à générer

¹⁷⁶ Erwin Schrödinger observait déjà l'existence de ces deux positions en 1951 dans Erwin SCHRÖDINGER, « Science et humanisme », dans *Physique quantique et représentation du monde*, Paris, Éditions du Seuil, 1992, trad. de Jean LADRIERE, p. 44.

des propositions vraies, et la conception DDI affirme que les meilleurs modèles sont ceux qui, suite à la démonstration et l'interprétation, nous donne les résultats les plus précis.

Moyennant parfois certains aménagements, aucune de ces conceptions, comme je l'ai montré, ne refuse l'existence de représentations en décalage avec leur cible, et toutes donnent une certaine idée de ce que serait une représentation exacte, mais, crucialement, toutes associent les représentations idéalisées à des représentations ratées. D'abord au sens utilisé jusqu'ici de représentation inexacte, mais aussi, il me semble, au sens de représentation de moindre qualité épistémique que ses équivalentes plus exactes, puisqu'une représentation idéalisée permet de réaliser moins d'inférences vraies que ses équivalentes moins idéalisées¹⁷⁷. Cela les condamne à ne pas parvenir à expliquer ce qui pousse les scientifiques à utiliser massivement des représentations idéalisées malgré l'existence d'alternatives plus exactes.

Elgin suggère au contraire que ces écarts de certaines représentations par rapport à leur cible ne sont pas des défauts à corriger ou des problèmes à solutionner, mais des qualités constitutives de leur valeur épistémique¹⁷⁸. Les modèles scientifiques idéalisés auraient une grande valeur épistémique, non pas malgré leurs écarts, mais bien grâce à eux. Pour mieux comprendre la puissance épistémique de la science, Elgin développe donc une conception des représentations scientifiques qui cherche à expliquer la relation qu'elles entretiennent avec leur cible, et en quoi c'est parce que cette relation est telle qu'elle est, et, en particulier, en quoi c'est parce qu'elle n'est pas une relation de simple correspondance aussi exacte que possible, que les représentations scientifiques sont à ce point épistémiquement utiles et donc centrales en science. On pourrait dire que la spécificité de la conception d'Elgin par rapport aux autres conceptions de la représentation est la volonté qu'elle a de prendre en compte et d'expliquer l'existence de représentations idéalisées.

Je commence par présenter en détail la conception d'Elgin et la manière dont elle répond aux différents problèmes et prend en compte les différentes caractéristiques (en particulier l'existence de représentations idéalisées) en essayant d'être aussi fidèle que possible à sa pensée. Je montre ensuite que la conception d'Elgin rencontre encore quelques difficultés, et comment Frigg et Nguyen parviennent à les surmonter grâce à leur conception DEKI.

¹⁷⁷ Il existe des situations où les représentations idéalisées permettent de réaliser plus d'inférences vraies que leurs équivalentes moins idéalisées, par exemple lorsque nos modèles mathématisés non idéalisés ne possèdent pas de solution analytique, rendant leur utilisation pour mener des raisonnements à propos de leur cible très limitée. Dans ces situations, l'usage d'une version idéalisée du modèle permet de réaliser beaucoup plus d'inférences vraies que l'usage du modèle non idéalisé. Cependant, ces cas font figure d'exceptions et la difficulté pour le cadre épistémologique traditionnel à comprendre l'usage massif en sciences d'idéalisations reste entière.

¹⁷⁸ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 249.

1.2. Deux manières de représenter

Les modèles, souligne Elgin, représentent leur cible comme ayant certaines caractéristiques plutôt que d'autres¹⁷⁹. Ils mettent en évidence ces caractéristiques dans l'objectif de fournir ce que nous pouvons appeler un *accès épistémique* à celles-ci, de rendre ces caractéristiques visibles, saillantes, ce qu'elles n'auraient pas pu être en l'absence de modélisation, la cible étant trop complexe et possédant trop de caractéristiques pour pouvoir être étudiée efficacement sans la médiation du modèle. C'est cela qui pousse les scientifiques à élaborer des représentations des systèmes qu'ils veulent étudier, même lorsqu'il est possible d'étudier le système lui-même. Les pendules réels ou ressorts réels doivent être simplifiés, par exemple par le modèle de l'oscillateur harmonique, pour rendre certaines dimensions de leur fonctionnement compréhensible, les gaz réels doivent être idéalisés par le modèle des gaz parfaits pour mettre en avant les rapports entre leur volume et leur température, l'Université de Liège doit être schématisée par une maquette de celle-ci pour rendre limpide l'agencement de ses différentes parties. Cette thèse n'est pas qu'une proposition de description du fonctionnement des modèles, elle repose aussi sur une proposition normative : la réalité étant trop complexe pour qu'une réplique dans la théorie de celle-ci soit épistémiquement utile, ou même simplement possible, l'un des buts de la science doit être de lui donner du sens, de l'organiser afin de la rendre accessible¹⁸⁰. Cette thèse peut être rapprochée de celle selon laquelle, puisque nos représentations sont toutes partielles, contextuelles et situées historiquement, une unique représentation complète de l'univers et de tous les phénomènes qu'il contient est, *a minima*, extrêmement improbable¹⁸¹.

Mais comment les représentations scientifiques font-elles exactement pour rendre épistémiquement accessibles certaines caractéristiques de leur cible en l'idéalisant ? Quelle conception Elgin propose-t-elle ? Premièrement, dans la mesure où elle s'inspire de la conception DDI de Hughes, et reprend donc la thèse selon laquelle une représentation dénote sa cible, on peut craindre que la conception d'Elgin soit incapable de rendre compte des représentations sans cible, comme l'est celle de Hughes dans sa première formulation et comme le sont toutes les conceptions qui impliquent que la cible d'une représentation doit réellement exister de prime abord. Elgin répond directement à ce contre-argument en disant qu'une

¹⁷⁹ *Ibid.*

¹⁸⁰ *Ibid.*, p. 250.

¹⁸¹ Roman FRIGG, James NGUYEN, « Maps, Models, and Representation », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023, p. 274 ; Philip KITCHER, *Science, Truth, and Democracy*, Oxford, Oxford University Press, 2001, p. 11.

représentation ne doit pas forcément dénoter sa cible, mais doit plutôt être le genre d'objet qui dénote¹⁸², c'est-à-dire faire partie d'une classe d'objets dont on s'attend typiquement qu'ils dénotent. Une peinture de licorne est une représentation de licorne dans le même sens qu'une peinture de chien est une représentation de chien, même si les chiens existent alors que les licornes pas. Il en va de même pour une carte du Mordor ou un arbre généalogique de la famille Targaryen par exemple. Ils représentent des fictions, donc des objets qui n'existent pas, mais le font de la même manière que les cartes de vraies zones géographiques ou les arbres généalogiques de vraies familles. En ceci, dans la conception d'Elgin, les représentations sans cible sont possibles, et ce sont des représentations dans la même manière que les représentations qui ont une cible : elles appartiennent à un genre d'objets (les cartes, les peintures, les arbres généalogiques) dont certains membres dénotent des objets réels.

1.2.1. Les représentations de p

Elgin n'affirme pas pour autant qu'il n'existe aucune différence entre une représentation sans cible et une représentation avec cible, ou qu'aucune distinction entre les deux n'est utile. Au contraire, reprenant une distinction proposée par Goodman¹⁸³, elle distingue ce que nous appellerons les *représentations de p* et les *p -représentations*. Une représentation r serait une représentation de p si p existe et que r dénote p ¹⁸⁴. Cela correspond au sens le plus général de représentation dans ce contexte, et peut être obtenu, comme nous l'avons vu dans la section 2 de la première partie, par simple stipulation : stipuler que tel livre que j'aurais sur ma table de chevet représente le pommier situé dans mon jardin suffit à ce que ce soit le cas.

Il me semble cependant qu'il n'est pas si évident que la notion de représentation à laquelle Elgin pense lorsqu'elle parle de représentation de p implique que p doit forcément exister. Par exemple, je peux prendre le même livre que j'ai utilisé pour représenter un arbre réel et stipuler, exactement de la même manière qu'avec l'arbre, qu'il représente Batman ou Dracula, alors que ni l'un ni l'autre n'existe. Je propose donc que, dans le vocabulaire de Goodman et Elgin, les représentations de p soient les représentations obtenues par simple stipulation ou par convention, que p existe ou non, et que la distinction entre représentation de p et p -représentation repose avant tout sur la manière par laquelle une représentation en devient une plutôt que sur l'existence ou non de sa cible. Une représentation est une représentation de

¹⁸² Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 251.

¹⁸³ Nelson GOODMAN, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, op. cit., p. 21–25.

¹⁸⁴ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 251.

p si et seulement si elle dénote p , dans le cas où p existe, ou semble dénoter p , dans le cas où p n'existe pas.

Concernant la notion de dénotation, Elgin et Goodman soutiennent qu'un symbole peut tout à fait dénoter plusieurs objets, et en particulier, un ensemble d'objets¹⁸⁵. Ainsi, un modèle de l'atome d'hydrogène peut dénoter tous les atomes d'hydrogène, et un dessin de moineau peut dénoter tous les moineaux. De plus, différentes parties d'une représentation peuvent dénoter les différentes parties de sa cible¹⁸⁶. Une partie d'un modèle de l'atome d'hydrogène dénote son proton, une autre dénote son électron. Une partie d'un dessin de moineau dénote ses pattes, une autre dénote son bec.

1.2.2. Les p -représentations

À l'inverse des représentations de p , une représentation ne peut pas être une p -représentation par simple stipulation. Néanmoins, elle peut aussi en être une sans pour autant que p existe. Une représentation est une p -représentation en fonction du genre de représentation auquel elle appartient, et une représentation appartient à un genre de représentation en fonction de certaines caractéristiques qu'elle possède. Par exemple, une statuette de Spiderman est une Spiderman-représentation, car elle possède un certain nombre de caractéristiques (par exemple, sa couleur, la forme de chacune de ses parties, ou ses proportions) en commun avec les autres Spiderman-représentations qui font d'elles toutes des Spiderman-représentations. De même, le modèle du pendule simple est une pendule-simple-représentation parce qu'il représente un pendule dont les caractéristiques sont celles du pendule simple, c'est-à-dire dont la masse n'a pas de volume, la corde n'a pas de masse, etc.

Il est intéressant de noter qu'une même représentation peut appartenir à plusieurs genres de p -représentations à la fois. Par exemple, une photo du chat de mes parents, Muesli, est à la fois une Muesli-représentation, une chat-représentation, une animal-de-compagnie-représentation, et une mammifère-représentation¹⁸⁷. Certaines de ces catégories en contiennent certaines autres (toutes les Muesli-représentations sont des chat-représentations), mais ce n'est pas toujours le cas (toutes les animal-de-compagnie-représentations ne sont pas des chat-représentations, et inversement).

¹⁸⁵ Catherine Z. ELGIN, *With reference to reference*, Indianapolis, Hackett, 1983, p. 19 ; Nelson GOODMAN, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, op. cit., p. 19.

¹⁸⁶ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, op. cit., p. 143.

¹⁸⁷ Liste non exhaustive.

Comme je le précisais, les *p*-représentations peuvent tout autant représenter des objets qui existent que des objets qui n'existent pas. Ainsi, l'arbre généalogique de la famille réelle Windsor et celui de la famille fictive Targaryen sont tous les deux des représentations de type *p*-représentation. Plus exactement, ce sont des arbre-généalogique-représentations, et ce, étant donné leurs caractéristiques. On constate que toutes les *p*-représentations sont également des représentations de *p*, mais que l'inverse n'est pas vrai, puisqu'il existe des représentations de *p* qui ne sont pas des *p*-représentations. L'arbre généalogique des Windsor est généralement une représentation d'arbre généalogique en plus d'être une arbre-généalogique-représentation, car il est présenté avec la précision qu'il représente la généalogie de la famille Windsor, il dénote donc les Windsor, mais mon livre utilisé pour représenter un pommier ou Batman n'est pas une pommier-représentation ou une Batman-représentation, car il ne possède pas de caractéristique particulière qui le ferait appartenir à un de ces deux genres de représentation.

On voit que c'est la notion de *p*-représentation qui permet directement et simplement de rendre compte des représentations sans cible. La conception d'Elgin n'a pas besoin de trouver des griffons ou des phlogistons dans le monde, même comme des objets abstraits par exemple, pour expliquer en quoi les illustrations de griffons ou la théorie du phlogiston sont des représentations. Elle peut simplement dire que ce sont des *p*-représentations, c'est-à-dire, dans ce cas-ci, respectivement des griffon-représentations et une phlogiston-représentation.

1.3. Les *p*-représentations de *q* : représenter *q* en tant que *p*

Cette distinction établie, il est possible d'élaborer un troisième type de représentation plus complexe, qui sera fondamental pour expliquer les représentations scientifiques selon la conception d'Elgin, et qui se construit à partir des deux premiers. Il s'agit des *p*-représentations de *q*¹⁸⁸. Cela correspond, explique Elgin, aux cas où une représentation *r* représente un objet ou un phénomène *q* en tant qu'un autre objet ou phénomène *p*¹⁸⁹. On peut penser par exemple aux caricatures animalières de personnalités politiques. Une caricature de Winston Churchill qui lui donne les traits d'un bulldog est une bulldog-représentation de Churchill, elle représente Churchill en tant que bulldog. C'est une bulldog-représentation en vertu du genre de représentation auquel elle appartient, donc des caractéristiques qu'elle a en commun avec toutes les autres bulldog-représentations, et c'est une représentation de Churchill parce qu'elle le dénote. Pour Elgin, c'est ce genre de relation que les modèles scientifiques ont avec leur cible. Dans les modèles, en tant que *p*-représentations de *q*, *q* est la cible : l'objet réel que le modèle

¹⁸⁸ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 252.

¹⁸⁹ Nelson GOODMAN, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, op. cit., p. 27–31.

cherche à atteindre (un pendule réel par exemple), et p est le sujet : ce que le modèle représente en vertu de ses caractéristiques et du genre de représentation auquel il appartient (celui des pendules idéaux). Le modèle des gaz parfaits, lorsqu'il est utilisé pour étudier le comportement d'un gaz réel, par exemple, est une gaz-parfait-représentation d'un gaz réel, c'est-à-dire une représentation des molécules de gaz réels en tant que molécules de gaz parfaits, autrement dit en tant que molécules de taille négligeable, ne présentant pas d'interactions entre elles en dehors des chocs, etc. Signalons dès à présent qu'une représentation peut être une p -représentation de p . Si je montre une photographie du chat de mes parents à un·e ami·e en lui disant « regarde, c'est Muesli, le chat de mes parents », je lui présente une Muesli-représentation de Muesli. La photographie appartient au genre des Muesli-représentations, mais c'est aussi une représentation de Muesli dans la mesure où je le stipule en montrant cette photographie.

En affirmant que les représentations scientifiques représentent sur le mode de la représentation « en tant que » (*representation as*), Elgin reprend et développe une thèse que Hughes avait déjà évoquée¹⁹⁰ sans la mener jusqu'au bout. Héritant de la conception DDI, elle affirme également qu'un modèle, en tant qu'outil appliqué à une cible particulière, possède trois composants : une dénotation, une démonstration, et une interprétation. Pour rappel¹⁹¹, la dénotation est le fait pour le modèle de désigner sa cible, d'y faire référence, la démonstration est l'ensemble des opérations effectuées au sein du modèle pour tirer des conclusions, et l'interprétation est le fait d'utiliser ces conclusions pour dire quelque chose de la cible du modèle. Par exemple, le modèle du pendule idéal dénote les pendules réels. Nous pouvons y rentrer certaines variables et y résoudre des équations, pour ainsi calculer certains résultats. Ensuite, nous pouvons interpréter ces résultats comme des caractéristiques du pendule réel et non juste des résultats mathématiques ou des caractéristiques du pendule idéal¹⁹². Ce qui intéresse particulièrement Elgin dans la conception DDI, c'est l'idée que les modèles, matériels ou abstraits, sont des outils dynamiques qui permettent de donner du sens et de la structure aux phénomènes que nous étudions, et non des représentations statiques et intouchables. Leur utilisation implique des raisonnements, et donc un mouvement de la pensée. Ce ne sont pas de simples représentations fixes et intouchables, mais des objets avec lesquels nous raisonnons¹⁹³.

¹⁹⁰ R. I. G. HUGHES, « Models and Representation », dans *The theoretical practices of physics: philosophical essays*, *op. cit.*, p. 158.

¹⁹¹ Voir la section 7 de la première partie de ce mémoire pour une analyse plus détaillée.

¹⁹² Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 252–253.

¹⁹³ Catherine Z. ELGIN, « Models as Felicitous Falsehoods », *Principia: an international journal of epistemology*, vol. 26, n° 1, 2022, p. 11 ; Mauricio SUAREZ, « Scientific Fictions as Rules of Inference », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science: philosophical essays on modeling and idealization*, New York, Routledge, coll. « Routledge studies in the philosophy of science » 4, 2009.

On sait que la dénotation peut être obtenue par simple stipulation : il suffit d'affirmer que x représente y pour que ce soit le cas¹⁹⁴. Par exemple, si je prends une photographie de Bonnie Tyler, je n'ai qu'à dire « disons que cette photographie représente mon lit »¹⁹⁵ pour que la photographie dénote mon lit. Rien d'autre n'est nécessaire pour que cette photo représente mon lit. Mais, et c'est un point crucial, cela ne suffit pas pour une p -représentation de q , et *a fortiori* pour un modèle scientifique. Stipuler qu'une photo de Bonnie Tyler, qui est une Bonnie-Tyler-représentation, représente mon lit ne suffit pas pour que cette photographie représente mon lit *en tant que* Bonnie Tyler, pour qu'elle soit une Bonnie-Tyler-représentation de mon lit.

Pourtant, il est largement acquis que la représentation d'un oscillateur harmonique, sous forme de schéma par exemple, est une représentation adéquate d'un ressort. C'est une oscillateur-harmonique-représentation d'un ressort, c'est-à-dire une représentation d'un ressort en tant qu'oscillateur harmonique. Elle appartient au genre des oscillateur-harmonique-représentations du fait des caractéristiques qu'elle exemplifie (que les oscillateurs harmoniques existent réellement ou non), et elle dénote (et représente) un ressort par simple stipulation et par convention. On peut remarquer que les oscillateur-harmonique-représentations sont souvent utilisées pour dénoter des pendules et pas seulement des ressorts. Ce qui permet de savoir que telle ou telle représentation dénote un pendule ou un ressort est justement la stipulation, la convention ou le contexte, mais pas les caractéristiques internes de la représentation. Pourquoi considère-t-on généralement que les oscillateur-harmonique-représentations sont des bonnes représentations de ressort, mais que les Bonnie-Tyler-représentations ne sont pas des bonnes représentations de mon lit ?

1.4. La notion d'exemplification

La question, pour Elgin, n'est donc pas tant de savoir comment une représentation qui ne dénote pas forcément son sujet (celui-ci pouvant ne pas exister, rendant la dénotation impossible) est capable d'en dénoter un autre, puisqu'une simple stipulation suffit. La question est maintenant de savoir l'intérêt d'une telle entreprise¹⁹⁶. Pourquoi est-il utile et intéressant pour les scientifiques de représenter un ressort en tant qu'oscillateur harmonique, ou l'altitude d'une région en tant que lignes sur une carte ? Comment les représentations scientifiques fournissent-elles un accès épistémique à leur cible ? À quelles conditions quelque chose peut-il être une p -représentation de q ? C'est cela qui, dans la conception d'Elgin, différenciera les

¹⁹⁴ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 253–254.

¹⁹⁵ Pour montrer à quelqu'un l'agencement des différents meubles de ma chambre, par exemple.

¹⁹⁶ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 255–256.

modèles scientifiques de mon exemple avec la photographie de Bonnie Tyler. Représenter un pendule en tant qu'oscillateur harmonique a un intérêt que représenter mon lit en tant que Bonnie Tyler n'a pas.

L'intérêt épistémique de représenter un objet par un autre comme le font les scientifiques s'explique pour Elgin par l'exemplification¹⁹⁷. L'exemplification est la relation d'un exemplaire à la propriété de l'objet dont il est l'exemplaire. En toute généralité, un objet x exemplifie une propriété p si et seulement s'il instancie p et fait référence à p ¹⁹⁸. Toute caractéristique exemplifiée doit donc être aussi instanciée, mais l'inverse n'est pas vrai : nombre de caractéristiques instanciées ne sont pas exemplifiées. L'exemple paradigmatique est celui des échantillons¹⁹⁹. Un petit carton rectangulaire rouge qui sert d'échantillon dans un magasin de peinture exemplifie la propriété d'avoir la couleur rouge : il possède cette propriété et y fait référence. Cependant, il n'exemplifie pas la rectangularité, puisqu'il n'y fait pas référence, même s'il l'instancie. Dans un autre contexte, par exemple pour enseigner les noms des différentes formes géométriques, le même rectangle rouge pourrait exemplifier la rectangularité. On voit qu'exemplifier une caractéristique implique de la sélectionner parmi les autres caractéristiques, mais que rien d'interne à l'objet dont on exemplifie une caractéristique ne nous contraint à sélectionner telle caractéristique plutôt que telle autre, aucune caractéristique n'a intrinsèquement plus de raison d'être exemplifiée que les autres²⁰⁰. Rien dans la nature du petit rectangle rouge ne nous oblige à exemplifier sa couleur plutôt que sa forme ou que sa distance par rapport au pôle Nord, et les caractéristiques qu'il exemplifie peuvent changer en fonction de la situation²⁰¹. L'exemplification dépend donc grandement du contexte, des conventions, des intentions, etc.

Prenons à nouveau l'exemple du tableau *Sarah Siddons en muse de la Tragédie* de Reynolds. Les outils introduits jusqu'ici nous permettent d'en analyser les composantes représentationnelles. Ce tableau, comme son nom l'indique, représente l'actrice Sarah Siddons *en tant que* muse de la tragédie. Il s'agit donc d'une muse-de-la-tragédie-représentation de Sarah Siddons. Ce tableau appartient au genre des muse-de-la-tragédie-représentations en vertu des caractéristiques qu'il possède : l'attitude de la personne représentée, ses attributs, les

¹⁹⁷ *Ibid.*, p. 257.

¹⁹⁸ *Ibid.*, chap. 9.

¹⁹⁹ Catherine Z. ELGIN, « Exemplification, Idealization, and Scientific Understanding », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science : philosophical essays on modeling and idealization*, New York, Routledge, coll. « Routledge studies in the philosophy of science » 4, 2009, p. 81.

²⁰⁰ Catherine Z. ELGIN, *Considered judgement*, Princeton, Princeton University Press, 1996, p. 172.

²⁰¹ *Ibid.*, p. 176.

personnages à sa gauche et sa droite, etc. À l'inverse, c'est avant tout une représentation de Sarah Siddons parce que Reynolds le stipule. En représentant Sarah Siddons en muse de la tragédie, Reynolds nous invite à imputer à cette actrice certaines des caractéristiques de la muse de la tragédie : ce sont ces caractéristiques qui sont exemplifiées. Les modèles scientifiques, pour la conception d'Elgin, fonctionnent de la même façon.

Les modèles scientifiques, affirme Elgin, exemplifient des caractéristiques de leur cible d'une manière qui nous rend ces caractéristiques épistémiquement accessibles. En l'absence de modélisation, ces mêmes caractéristiques auraient été obscurcies par d'autres, et il aurait été beaucoup plus difficile, voire impossible, de les discerner.

Une importante vertu du fait, pour les scientifiques, de rendre épistémiquement accessibles, grâce à un modèle, certaines caractéristiques d'une cible par l'exemplification est de permettre de reconnaître ces caractéristiques dans d'autres situations réelles, malgré la présence des autres caractéristiques qui, habituellement, auraient obscurci les caractéristiques intéressantes²⁰². Ainsi, une p -représentation de q ne fait pas que représenter q en tant que p . C'est parce que cette représentation est une p -représentation qu'elle possède et exemplifie certaines caractéristiques et peut donc être une représentation épistémiquement intéressante de q ²⁰³. Les gaz-parfait-représentations exemplifient des caractéristiques des gaz réels — notamment l'amplitude de la relation entre leur pression, leur température, et leur volume — qui sont utiles pour mieux comprendre le comportement et la nature de tous les gaz, alors que les Bonnie-Tyler-représentations en tant que représentation appartenant à ce genre n'exemplifient *a priori* aucune caractéristique intéressante de mon lit.

Rien ne garantit donc, pour une p -représentation quelconque, qu'elle puisse adéquatement être une représentation de q . Tous les phénomènes ne peuvent pas être représentés de manière épistémiquement intéressante par un oscillateur harmonique. Il faut que la p -représentation, le modèle, corresponde suffisamment à sa cible. Cela peut arriver parce que le modèle est approximativement vrai (il n'est inexact que de peu), ou parce que les caractéristiques par rapport auxquelles il est inexact (même de beaucoup) sont négligeables, ou parce qu'il n'est faux que sur des caractéristiques non pertinentes, ou parce que les cas où il se trompe ne nous intéressent pas (parce que ce sont des cas limites par exemple). Dans tous ces cas, dit Elgin, notre modèle est « suffisamment vrai »²⁰⁴. Il n'est faux que de manière non

²⁰² Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 259.

²⁰³ *Ibid.*, p. 260 ; Catherine Z. ELGIN, « Telling Instances », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, vol. 262, Dordrecht, Springer Netherlands, coll. « Boston Studies in the Philosophy of Science », 2010, p. 10.

²⁰⁴ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 261.

pertinente ou non importante. Le pendule simple est suffisamment vrai vis-à-vis des pendules réels, là où Bonnie Tyler ne l'est pas vis-à-vis de mon lit. C'est ce qui fait du modèle du pendule simple une *p*-représentation d'un pendule réel épistémiquement intéressante, alors qu'une photographie de Bonnie Tyler n'est pas une *p*-représentation intéressante de mon lit.

Si l'exemplification d'une caractéristique demande l'instanciation de cette caractéristique et que les représentations scientifiques exemplifient certaines des caractéristiques de leur cible, doit-on conclure qu'un modèle est similaire à sa cible sur certaines caractéristiques et que la conception d'Elgin ressemble à la conception par similarité ? Oui et non. Tout d'abord, la similarité dans l'absolu n'est ni nécessaire ni suffisante dans la conception d'Elgin : si ce n'était pas le cas, tout objet étant toujours similaire à tout autre, il faudrait dire que tout objet *a* représente tout objet *b* en tant que *a*, ou est une *a*-représentation de *b*²⁰⁵. En revanche, la similarité sur certaines caractéristiques entre un modèle et sa cible, c'est-à-dire la possession de caractéristiques communes entre le modèle et sa cible (caractéristiques qui peuvent être abstraites), est une condition nécessaire pour qu'un modèle scientifique représente sa cible, mais elle n'est pas suffisante²⁰⁶. Il faut que ces ressemblances soient sélectionnées, mises en évidence, afin de les rendre épistémiquement accessibles, mais aussi de souligner leur importance. Autrement dit, il faut qu'elles soient exemplifiées, donc instanciées et référencées par le modèle, et non simplement instanciées, et il faut qu'elles soient exemplifiées de façon à ne pas être obscurcies par d'autres caractéristiques²⁰⁷.

Exemplifier une caractéristique, dans le contexte des représentations scientifiques, implique donc également de la mettre en lumière. Pour résumer, on peut proposer la définition suivante de l'exemplification : un objet *X* exemplifie une caractéristique *P* dans un contexte *C* si et seulement si *X* instancie *P* et *P* est mise en lumière dans *C*, *P* étant mise en lumière dans *C* si et seulement si *C* sélectionne *P* comme caractéristique pertinente et *P* est épistémiquement accessible dans *C*²⁰⁸.

Par exemple, le modèle du pendule simple, utilisé par un.e scientifique pour représenter un pendule réel et en déterminer approximativement certaines caractéristiques, exemplifie sa

²⁰⁵ Catherine Z. ELGIN, « Exemplification, Idealization, and Scientific Understanding », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science : philosophical essays on modeling and idealization*, op. cit., p. 79.

²⁰⁶ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 262.

²⁰⁷ Catherine Z. ELGIN, « Exemplification, Idealization, and Scientific Understanding », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science : philosophical essays on modeling and idealization*, op. cit., p. 86.

²⁰⁸ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, op. cit., p. 148.

fréquence d'oscillation tout d'abord parce qu'il l'instancie²⁰⁹ (alors qu'il n'instancie pas la masse de la corde par exemple), mais aussi parce que le contexte, c'est-à-dire, ici, les objectifs de la scientifique, sélectionne cette caractéristique en demandant, parfois explicitement, de la prendre en compte, que ce soit directement (elle fait partie des données du calcul), ou après calcul (c'est une inconnue et les données suffisent à la déterminer), et elle est épistémiquement accessible puisque trouvable facilement par calcul et que son accès n'est pas obstrué par la présence de caractéristiques superflues par rapport aux objectifs de la scientifique comme le frottement de la corde ou le volume de la masse.

Un modèle exemplifie une caractéristique de sa cible, et, ce faisant, insiste sur le fait qu'il s'agit d'une caractéristique importante, intéressante, et qu'il faut prendre en compte et analyser²¹⁰. Et inversement, une caractéristique de la cible non exemplifiée dans le modèle est à considérer comme une caractéristique négligeable dans ce contexte, ou dont la prise en compte aurait rendu les caractéristiques exemplifiées moins accessibles épistémiquement. Quand le modèle du pendule simple affirme que le poids de la corde est nul, nous ne concluons pas que les poids des cordes des pendules réels sont nuls, puisque nous savons que cela est impossible. Plutôt, nous comprenons que ce poids est négligeable, que ce soit parce qu'il est trop faible ou parce qu'il n'est pas pertinent, pour établir le genre de connaissance ou de compréhension que nous cherchons à établir du pendule réel que nous observons, et que le prendre en compte compliquerait inutilement l'accès à la compréhension que nous cherchons à avoir. Mais dans d'autres situations, pour des raisons épistémiques comme pour des raisons pratiques, il faut prendre en compte le poids de la corde, la forme de la masse oscillante, et la résistance du milieu. Il ne s'agit pas ici pour Elgin de dire que tout pendule gagne toujours à être représenté pas un pendule simple, mais plutôt de souligner l'intérêt proprement épistémique des idéalizations et de lutter contre l'envie d'au contraire toujours représenter les pendules par des représentations complexes et très peu idéalisées²¹¹. Deux représentations différentes d'une seule et même cible peuvent parfaitement coexister et avoir chacune leur domaine d'application et leur intérêt spécifique.

²⁰⁹ On peut se demander comment un modèle immatériel et abstrait peut exemplifier une caractéristique qui s'applique *a priori* à des objets concrets comme la fréquence d'oscillation. Je reviendrai plus en détail sur ce point dans la section 1.9.1 de cette partie. Pour cet exemple-ci, nous pouvons simplement considérer que le modèle du pendule simple, bien qu'abstrait, est capable d'instancier des caractéristiques concrètes.

²¹⁰ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 263.

²¹¹ Je remercie Odile Keller de m'avoir exhorté à clarifier ce point.

1.5. La réponse d'Elgin au problème de la représentation

En combinant les notions de p -représentation de q , d'exemplification, et d'imputation, nous pouvons élaborer la définition des modèles que propose la conception d'Elgin. Les représentations scientifiques sont des représentations du type p -représentation de q , elles représentent leur cible en exemplifiant certaines de leurs caractéristiques puis en imputant à la cible ces caractéristiques exemplifiées. On obtient la définition suivante : un modèle M représente sa cible T si et seulement si M représente T en tant que Z , et M représente T en tant que Z si et seulement si (i) M dénote T , (ii) M est une Z -représentation qui exemplifie les caractéristiques Z_1, \dots, Z_n , et (iii) au moins une des caractéristiques exemplifiées Z_1, \dots, Z_n est imputée à T .

Nous sommes maintenant en mesure de comprendre comment la conception d'Elgin intègre et caractérise les éléments de la conception DDI. La dénotation ne change pas. La démonstration est expliquée par l'exemplification : il s'agit de chercher dans le modèle les caractéristiques qu'il exemplifie. Enfin, l'interprétation est prise en charge grâce à l'imputation : interpréter un modèle consiste à imputer certaines des caractéristiques qu'il exemplifie à sa cible.

1.6. Le point fort de la conception d'Elgin : expliquer les idéalizations

1.6.1. Les multiples façons d'exemplifier et la valeur des écarts

Un des avantages, pour les scientifiques, de n'exemplifier dans leurs modèles que certaines caractéristiques est que cela permet de lier entre eux des phénomènes parfois très différents²¹². À nouveau, c'est en rendant épistémiquement accessibles des caractéristiques de leurs cibles qui autrement ne l'auraient pas été que les modèles parviennent à lier entre elles des cibles à première vue très différentes. La loi universelle de la gravitation établie par Newton permet de lier entre eux la pierre qui tombe, les phénomènes de marées, et le mouvement des étoiles dans une galaxie. Le modèle de l'oscillateur harmonique montre que le mouvement d'un pendule et celui d'un ressort sont, sur certains aspects cruciaux, similaires. La loi des gaz parfaits lie entre eux un très grand nombre de gaz aux propriétés pourtant très différentes sur énormément d'autres aspects. La théorie des jeux évolutionniste s'applique autant aux interactions proie-prédateur qu'aux comportements de reproduction ou à l'altruisme. Les différences entre ces objets ou ces phénomènes, nous disent les modèles, doivent parfois être

²¹² Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 263–264.

ignorées afin de mieux saisir et apprécier ce qui les unit. Pour que ce soit possible, les modèles n'ont d'autres choix que de représenter leur cible de façon altérée.

Cependant, ignorer certaines caractéristiques de leur cible pour mieux en exemplifier d'autres n'est pas le seul outil des modèles pour parvenir à représenter des cibles parfois très différentes, sinon nous pourrions simplement les considérer comme des approximations, des représentations partielles ou des représentations schématiques²¹³. L'exemplification passe aussi par exemple par la déformation ou l'exagération. Le modèle d'Hardy-Weinberg ne fait pas qu'ignorer les influences évolutives qui ont normalement lieu dans des populations réelles, il déforme aussi ces dernières en postulant une population infinie, dont les générations ne se chevauchent pas, et dont les individus se reproduisent au hasard. Certains modèles astronomiques représentent les planètes comme des points sans volume, ce qui, sachant la taille de Jupiter, n'est pas une approximation, mais au contraire un éloignement très important par rapport à la réalité²¹⁴. Autre exemple astronomique, la première loi de Kepler dit que les planètes suivent une trajectoire elliptique dont leur étoile est l'un des foyers. Dans le cas de la Terre, le Soleil est si massif que cette ellipse est quasiment un cercle, si bien qu'une représentation fidèle de la trajectoire de la Terre autour du Soleil selon cette loi, sous forme de dessin sur papier par exemple, nous serait indiscernable d'une autre où la trajectoire est un cercle. En conséquence, les représentations exagèrent toujours très grandement l'excentricité de la trajectoire. Il ne s'agit pas d'une erreur, mais bien d'un écart intentionnel par rapport à l'exactitude afin de rendre l'information « la trajectoire de la Terre autour du soleil est elliptique » épistémiquement accessible²¹⁵. Beaucoup de représentations scientifiques s'écartent donc de l'exactitude par rapport à leur cible d'une manière qui leur permet précisément de fournir un accès épistémique à des aspects de leur cible qui ne seraient pas accessibles, ou pas aussi facilement, en l'absence d'écarts de la part des représentations²¹⁶. Ce n'est pas en dépit de leurs écarts que ces représentations scientifiques sont épistémiquement précieuses, c'est grâce à eux.

Comment alors identifier les écarts intentionnels des autres ? Comment savoir quelles caractéristiques d'un modèle sont importantes et lesquelles sont à ignorer ? Hughes affirme que

²¹³ *Ibid.*, p. 265.

²¹⁴ Catherine Z. ELGIN, « Selective Disregard » [en ligne], dans Chiara AMBROSIO et Julia SANCHEZ-DORADO (éds.), *Abstraction in Art and Science*, London, Routledge, 2024, URL: http://catherineelgin.com/exemplification/selective_disregard.pdf.

²¹⁵ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 265.

²¹⁶ Catherine Z. ELGIN, « Models as Felicitous Falsehoods », *Principia: an international journal of epistemology*, *op. cit.*, p. 12.

pour manipuler un modèle il faut savoir correctement l'interpréter, et Elgin reprend cette thèse. Mais Hughes n'a pas expliqué ce que signifiait exactement « interpréter » dans ce domaine. Elgin au contraire, propose une réponse²¹⁷. Interpréter correctement un modèle consiste précisément à identifier quelles caractéristiques, parmi celles qu'il instancie, il exemplifie. Concrètement, il faut déterminer quelles caractéristiques sont nécessaires pour ce modèle en tant que modèle de sa cible, et lesquelles sont contingentes. La contingence de certaines caractéristiques est évidente : que je dessine la trajectoire elliptique de la Terre avec un crayon sur une feuille de papier ou que je la réalise grâce à un logiciel sur un ordinateur ne change rien. De la même façon, que le modèle réduit d'un bâtiment se trouve dans un cave, en extérieur, ou dans une salle d'exposition n'a aucune importance quant à ses vertus représentationnelles en tant que modèle. À l'inverse, certaines caractéristiques sont nécessaires, ce sont celles que la représentation exemplifie et qui devront être attribuées à la cible du modèle une fois celui-ci utilisé. Pour savoir de quelles caractéristiques il s'agit, il faut entre autres identifier les intentions des élaborateur·rice·s du modèle. Critiquer la représentation de la trajectoire elliptique de la Terre sous prétexte qu'elle est très exagérée serait rater les intentions et les raisons qui ont amené à cette exagération.

Jusqu'ici, il a été supposé que les cibles des modèles scientifiques sont des objets ou phénomènes qui existent indépendamment de leurs modèles et ne sont pas influencés par ceux-ci. Les pendules existent de la même manière qu'on les modélise ou non, il en va de même pour le mouvement elliptique de la Terre ou pour les marées. Cependant, ce n'est pas toujours le cas : certains modèles modifient activement leur cible. Elgin prend un exemple déjà développé par Hasok Chang²¹⁸ d'un modèle qui redéfinit sa cible : le thermomètre²¹⁹.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, la température n'était pas une amplitude déjà établie lorsque le thermomètre fut créé. Au dix-septième siècle, la température, telle que définie aujourd'hui, n'existait pour ainsi dire pas. Ce qui existait, c'étaient les sensations de chaud et de froid, mais un même objet pouvant être perçu comme chaud par une personne et comme froid par une autre, la chaleur était une propriété des sensations des individus, et non des objets eux-mêmes, comme le soulignait déjà John Locke²²⁰. Les scientifiques voulurent donc

²¹⁷ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 265–266.

²¹⁸ Hasok CHANG, *Inventing temperature: measurement and scientific progress*, Oxford, Oxford University Press, coll. « Oxford studies in philosophy of science », 2007.

²¹⁹ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 266–267.

²²⁰ John LOCKE, *Essai philosophique concernant l'entendement humain*, 3^e éd., Amsterdam, Pierre Mortier, 1735, trad. de Pierre COSTE, p. 94 ; Hasok CHANG, *Inventing temperature: measurement and scientific progress*, op. cit., p. 43.

développer des outils capables de mesurer la « vraie » différence entre un objet chaud et un froid. Cependant, iels ne réussirent pas, les outils créés ne permettaient pas de rendre compte des différences de chaleur ressenties. Au lieu de voir cela comme un défaut des outils à corriger, iels finirent par faire confiance aux thermomètres, et par redéfinir la notion même de température en conséquence.

Le thermomètre est donc plus qu'un simple outil de mesure : c'est un modèle. Pour le décrire selon les types de représentations établis par Elgin, c'est une hauteur-de-mercure-représentation de la température, autrement dit, une représentation de la température en tant que hauteur d'une colonne de mercure. Le thermomètre, en tant que modèle, exemplifie des changements d'amplitude — ce sont les changements de hauteur du mercure — et les impute à la température, qui est sa cible, et qui a été partiellement définie et modifiée par le thermomètre lui-même. Une indication supplémentaire du caractère souvent dynamique des représentations scientifiques

Nous venons de voir, avec le modèle de l'oscillateur harmonique qui compte parmi ses cibles à la fois les pendules et les ressorts par exemple, qu'un même modèle peut être utilisé pour représenter plusieurs types d'objets et phénomènes par ailleurs très différents. L'inverse est également vrai : un même objet ou phénomène peut être la cible de plusieurs modèles²²¹. Nous sommes en mesure de comprendre pourquoi : chaque modèle permettra d'exemplifier certaines caractéristiques de la cible plutôt que d'autres et donnera donc un accès privilégié à ces caractéristiques²²². En multipliant les modèles, nous multiplions les perspectives et les accès sur la cible des modèles et, pour autant que les modèles en question soient épistémiquement intéressants, nous augmentons notre connaissance et notre compréhension de l'objet ou du phénomène en question²²³. Il vaut parfois mieux représenter une pomme comme un point mathématique doté d'une masse, mais d'aucun volume, pour en étudier la chute sur une courte distance grâce aux lois de la cinématique, mais dans d'autres cas il faudra prendre en compte plus complètement sa forme géométrique pour déterminer ses caractéristiques aérodynamiques par exemple. Similairement, il sera parfois utile de représenter la lumière comme une onde, et parfois préférable de la représenter comme une particule. Dernier exemple, s'il peut être utile de représenter un·e agent·e comme purement rationnel·le et parfaitement informé·e, il peut

²²¹ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 267.

²²² *Ibid.*

²²³ Catherine Z. ELGIN, « Exemplification, Idealization, and Scientific Understanding », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science : philosophical essays on modeling and idealization*, *op. cit.*, p. 88.

aussi être plus approprié de la représenter comme une personne avec des désirs et des préférences contradictoires et des informations limitées.

1.6.2. Les modèles « dépassés »

Il existe cependant une question à élucider : pourquoi, lorsqu'il existe, pour un modèle x , un autre modèle y qui rend compte de tout ce dont rend compte x mais de façon plus précise, moins idéalisée, ou en prenant aussi en compte des variables que x néglige ou ignore, continue-t-on parfois à utiliser x au profit de y ? La loi des gaz parfaits a été successivement remplacée par l'équation de van der Waals, puis par celle du viriel, qui est capable d'être arbitrairement précise²²⁴. Autre exemple, il est parfaitement possible aujourd'hui de décrire le mouvement d'un objet dans le cadre newtonien en prenant en compte les forces de frottements et les moments de force. Pire, en fonction des cas, nous obtiendrions une description plus exacte et précise en utilisant la théorie de la relativité ou la mécanique quantique plutôt que la mécanique classique. Pourquoi, alors, les scientifiques persistent-ils à utiliser, même dans leurs recherches et leurs publications, des modèles qu'on pourrait qualifier de « dépassés » ?

Elgin suggère que ce n'est pas parce que les modèles dépassés seraient plus faciles à utiliser — ce n'est pas toujours le cas — ou parce que les scientifiques ont du mal à passer à un autre modèle, par conservatisme et habitude par exemple. Pour elle, la raison est avant tout épistémique, et nous avons déjà en main une partie des éléments pour la trouver. Il ne s'agit évidemment pas de nier l'importance de l'équation du viriel, ou de la théorie de la relativité, ou de tout autre modèle plus récent, précis, et puissant que ses prédécesseurs. Ces accomplissements scientifiques sont impressionnants étant donné leur valeur épistémique, et ils contribuent indéniablement au progrès scientifique en augmentant notre connaissance et notre compréhension de leurs cibles.

Néanmoins, souligne Elgin, il ne faut pas oublier, pour toutes les raisons déjà développées, que l'objectif d'un modèle n'est pas forcément de représenter parfaitement sa cible, d'être aussi précis que possible. L'objectif général des représentations scientifiques est de nous donner un accès épistémique privilégié à certaines caractéristiques de leur cible en les exemplifiant, et pour ce faire, il convient d'ignorer les caractéristiques auxquelles on ne cherche pas à accéder, et éventuellement d'idéaliser ou d'exagérer celles pour lesquelles nous souhaitons un accès²²⁵. Il arrivera que cela passe par un niveau de précision très élevé, voire par

²²⁴ Yannick DOYLE, Spencer EGAN, Noah GRAHAM, *et al.*, « Non-factive Understanding : A Statement and Defense », *Journal for General Philosophy of Science*, vol. 50, n° 3, 2019.

²²⁵ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*, p. 268.

l'exactitude, mais ce n'est qu'une possibilité, par un objectif général. Tout dépend de la question à laquelle nous cherchons à répondre, et du contexte dans lequel nous nous trouvons.

Mais dans ce cas, pourquoi ne pas utiliser le modèle le plus récent, le plus précis, et simplement y négliger les caractéristiques qui ne nous intéressent pas ? Pourquoi, lorsque nous souhaitons décrire la relation entre température, volume et pression dans un gaz, ne pas écrire systématiquement l'équation du viriel au complet, puis y remplacer par zéro les données à négliger ? Pourquoi, lorsque nous cherchons à décrire le mouvement d'un objet dans l'espace, ne pas indiquer tout d'abord les moments de force et les forces de frottements éventuels, avant de les supprimer de l'équation, car si faibles qu'ils en sont négligeables ? Dans beaucoup de cas, ce ne serait pas impossible, et ce serait peut-être même une bonne idée.

Elgin associe la raison épistémique qui pousse à persister dans l'utilisation de modèles « dépassés » au principe du fusil de Tchekhov²²⁶. Ce principe de dramaturgie dit : « si, dans le premier acte, vous avez accroché un fusil sur le mur, alors dans le suivant, il devrait être utilisé. Autrement, n'en mettez pas là »²²⁷. Plus globalement, le principe veut que, dans une pièce de théâtre, tout élément potentiellement significatif ne soit présent que s'il est réellement significatif. Appliqué aux modèles, le principe dit qu'il ne faut pas indiquer les caractéristiques inutiles quand cela est possible. Cela correspond à la deuxième maxime de quantité de Grice selon laquelle il ne faut pas rendre ses contributions plus informatives que nécessaire²²⁸. Cela peut correspondre également à une version épistémique du rasoir d'Occam²²⁹. Le rasoir veut qu'il ne faille pas multiplier inutilement les hypothèses explicatives, et qu'il faille utiliser les hypothèses qui soulèvent le moins de questions subsidiaires. Appliqué au cas des représentations scientifiques et de ce qu'elles exemplifient, le rasoir dirait de ne pas multiplier les caractéristiques exemplifiées si ce n'est pas nécessaire, afin de rendre la représentation aussi limpide que possible. Si la loi des gaz parfaits suffit, il convient de l'utiliser plutôt que l'équation du viriel, car privilégier cette dernière ferait, dans ce contexte, obstacle aux objectifs de clarté et de compréhension. L'utiliser amènerait l'audience à se demander pourquoi les parties négligeables ont été introduites, si c'est pour les ignorer juste après. En intégrant des détails inutiles, nous amenons l'audience à penser qu'ils ne le sont pas, voire qu'ils sont importants.

²²⁶ *Ibid.*, p. 269.

²²⁷ Ilya Iakovlevitch GURLYAND, « Reminiscences of A. P. Tchekhov », *Teamp u uckyccmbo (Théâtre et art)*, n° 28, 1904, p. 521.

²²⁸ Paul GRICE, *Studies in the way of words*, Cambridge, Harvard University Press, 1989, p. 26.

²²⁹ Je remercie Quentin Hosch et Odile Keller pour cette suggestion.

Cependant, toutes les représentations ont des caractéristiques contingentes qui doivent être ignorées, mais ne peuvent pas être supprimées (la police d'écriture choisie pour écrire une équation ou l'emplacement géographique d'un modèle réduit par exemple). Comment respecter le principe dans ces cas-là ? Comment ne pas donner l'impression que ces caractéristiques sont importantes et doivent être prises en compte par l'audience dans son interprétation du modèle ? La façon la plus courante de régler ce problème est de faire en sorte que ces inévitables caractéristiques soient les moins remarquables possibles. Par exemple, que la police utilisée soit une police standard ou couramment utilisée, que les diagrammes soient placés de manière à remplir élégamment l'espace qui leur est attribué, que rien n'indique que l'orientation géographique du modèle réduit importe (en ne le plaçant pas avec une orientation étrange par rapport aux autres objets de la pièce ou en ne mettant pas une boussole à ses côtés par exemple).

L'importance de respecter ce principe de parcimonie et de clarté vient de sa valeur épistémique — les modèles qui respectent ce principe réussissent mieux à transmettre des connaissances et de la compréhension au sujet de leur cible que ceux qui ne le respectent pas — mais il faut noter que c'est aussi éminemment lié au caractère collectif des sciences. Les sciences contemporaines reposent énormément sur le consensus et l'accord intersubjectif, il faut donc que les productions des scientifiques soient aussi claires et compréhensibles que possibles pour leurs collègues, et l'utilisation d'un modèle dont il est clair, parmi les caractéristiques qu'il exemplifie, lesquelles sont significatives et lesquelles ne le sont pas contribue à cela.

Si, pour un exercice de physique, une étudiante écrit la deuxième loi de Newton avec la police « Old English Text MT » parce qu'elle la trouve amusante, cela ne changera rien à la relation épistémique qu'elle aura à cette instance de la loi, puisqu'elle sait que le choix de cette police spécifiquement n'a aucune importance sur ce plan. Ce choix ne peut pas entraver sa bonne compréhension du phénomène auquel elle essaie d'accéder dans le cadre de l'exercice. En revanche, si, devenue scientifique, elle publie un article de recherche ou elle écrit la même loi avec la même police, les autres scientifiques qui liront l'article se demanderont les raisons de ce choix, et cela obstruera leur accès à ce que la scientifique voulait vraiment montrer. Le problème n'émerge que quand le choix devient collectif. Les scientifiques accordent donc de l'importance à l'univocité et la standardisation de leurs symboles, ce qui leur permet de distinguer les caractéristiques significatives des non significatives de leurs modèles.

Pour conclure, tout ceci montre que la conception d'Elgin en général et son utilisation de la notion d'exemplification en particulier parvient de manière assez convaincante à rendre compte des choix et des motivations des scientifiques lorsqu'ils élaborent des représentations du monde ou de parties du monde, et ce, il me semble, mieux que les autres conceptions de la

représentation scientifique analysées jusqu'ici. Analysons maintenant comment cette conception propose de répondre aux différents problèmes et de rendre compte des différentes caractéristiques.

1.7. Le problème de la démarcation

Concernant le problème de la démarcation, comme Hughes, Elgin le rejette. Elgin inclut dans son analyse toutes sortes de représentations scientifiques et pas seulement les modèles²³⁰. Elle y inclut également les expériences de pensée²³¹ ou les expérimentations de laboratoire²³². En outre, nombre de ses exemples viennent des arts²³³ et d'autres disciplines, et, comme nous l'avons vu, elle est en grande partie héritière des concepts développés par Goodman en philosophie de l'art. Sa conception se veut donc applicable à la notion de représentation épistémique en général, et pas seulement au cas particulier de la représentation scientifique.

Elle souligne cependant trois différences notables entre les représentations scientifiques et les représentations artistiques, et plus précisément entre la notion d'exemplification telle qu'elle existe dans les arts et en science²³⁴. Premièrement, deux représentations artistiques identiques à quelques petites différences près pourront exemplifier des caractéristiques différentes, là où ce ne serait pas le cas avec deux représentations scientifiques. Si deux échantillons de l'eau d'un même lac ont une composition aux proportions légèrement différentes, il ne sera pas considéré que les deux échantillons exemplifient des caractéristiques générales suffisamment différentes pour qu'ils représentent deux lacs différents. En revanche, si deux peintures sont très similaires à ceci près que la couleur du ciel est légèrement différente entre les deux peintures, il sera courant de considérer que les deux peintures ne représentent pas le même ciel. Les représentations scientifiques autorisent donc plus de latitude que les représentations artistiques.

Deuxièmement, les représentations artistiques semblent pouvoir exemplifier beaucoup plus de caractéristiques parmi celles qu'elles instancient que les représentations scientifiques. Énormément des caractéristiques d'une représentation artistique, de la texture du support à l'épaisseur du trait, en passant par les couleurs et pas la taille, peuvent être exemplifiées. Ce

²³⁰ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 24–32.

²³¹ *Ibid.*, p. 222–228.

²³² *Ibid.*, p. 228–235.

²³³ L'exemple paradigmatique de *Sarah Siddons en muse de la tragédie* vient directement à l'esprit. Si l'exemple par excellence d'Elgin de représentation qui fonctionne comme les représentations scientifiques est un tableau, cela implique que pour elle il est possible d'analyser les représentations artistiques et scientifiques avec la même conception.

²³⁴ Catherine Z. ELGIN, « Making Manifest: The Role of Exemplification in the Sciences and the Arts », *Principia : an international journal of epistemology*, vol. 15, n° 3, 2012, p. 409–411.

n'est généralement pas le cas des représentations scientifiques, dans lesquelles il est d'usage de traiter comme ne jouant aucun rôle d'exemplification la plupart des caractéristiques, et de se concentrer sur un nombre très restreint de caractéristiques afin d'assurer l'accès épistémique à celles-ci.

Troisièmement, concernant l'interprétation des représentations artistiques, l'absence de consensus est généralement attendue, voire souhaitée. Cette absence n'est pas le signe d'un défaut de la représentation artistique ou de son échec à exemplifier correctement certaines de ses caractéristiques. Au contraire, en science, qu'une représentation donnée puisse être interprétée de nombreuses manières très différentes, voire contradictoires, serait vu comme un échec. C'est précisément pour cela qu'une représentation scientifique est généralement accompagnée d'indications permettant de savoir comment l'interpréter et comment déterminer ce qu'elle exemplifie précisément.

1.8. Les autres problèmes et caractéristiques

La conception d'Elgin rend directement compte de la possibilité de raisonnement inférentiel grâce à l'exemplification et l'imputation : en proposant qu'un modèle exemplifie certaines caractéristiques et en imputant ces caractéristiques à la cible du modèle, un·e utilisateur·rice est capable de mener des raisonnements à propos de la cible grâce au modèle. Puisque, pour ce faire, iel doit proposer quelles caractéristiques sont à imputer à la cible, et qu'iel peut se tromper en formulant cette proposition, la conception prend également en compte les représentations ratées, et les différencie des non-représentations : une représentation est ratée si elle impute à sa cible des caractéristiques que celle-ci n'a pas. On obtient également une réponse au problème de la précision : une représentation est exacte dans la mesure où sa cible possède les caractéristiques que la représentation en question lui impute. Comme avec la conception DDI, la dénotation assure la directionnalité.

Concernant les représentations sans cible, comme nous l'avons vu, la conception d'Elgin les traite comme des *p*-représentations qui ne dénotent pas. Un symbole peut toujours être une *p*-représentation sans être une représentation de *q*. C'est ainsi le cas des représentations de créatures fictives comme les elfes ou les gobelins, mais aussi des représentations scientifiques sans cibles comme la théorie du calorique ou celle de l'éther luminifère. Un avantage supplémentaire de cette approche des représentations sans cible est que, étant des *p*-représentations, les représentations sans cible peuvent exemplifier certaines de leurs caractéristiques, et donc nous y fournir un accès épistémique. Le problème des types n'est pas directement abordé, mais il est possible d'imaginer que chaque genre de *p*-représentation

constitue un type, quoique ceci soit loin d'être évident (deux modèles réduits peuvent ne pas appartenir au même genre, mais, étant des modèles réduits, on aurait envie qu'il fasse partie du même type).

Concernant le problème ontologique, bien qu'elle ne l'aborde jamais explicitement, il semble qu'Elgin rejoigne la position de la conception fictionnelle indirecte que nous avons vue dans la section 6.2 de la première partie. Pour Elgin, les modèles sont des fictions²³⁵. Cela va de pair avec son rejet du problème de la démarcation : sa conception ayant pour intention d'expliquer la valeur épistémique des modèles en prenant en compte leurs écarts par rapport à l'exactitude, elle s'applique également aux œuvres de fictions au sens restreint, aux expériences de pensées, ou aux expérimentations de laboratoire²³⁶. Toutes ces représentations sont pour elle des formes de fictions. Finalement, à propos de l'applicabilité des mathématiques, bien qu'Elgin dise qu'un modèle peut exemplifier des propriétés mathématiques qu'il partage avec sa cible²³⁷, elle ne propose pas d'explication significative de la relation entre les mathématiques et les représentations scientifiques.

1.9. Des aspects à peaufiner

Si la conception d'Elgin est sur la bonne voie et a permis de considérablement étendre, développer, et préciser celle de Hughes, il y a certains aspects sur lesquels elle reste trop évasive, et certains éléments qu'elle ne développe pas suffisamment. Frigg et Nguyen en identifient trois²³⁸, qui seront précisément ceux qu'ils vont retravailler pour proposer leur propre conception, que nous verrons dans la deuxième section de cette partie.

1.9.1. Qu'instancient les représentations ?

Nous avons vu que pour qu'une représentation impute une caractéristique à sa cible, il faut qu'elle l'exemplifie, et que pour qu'elle l'exemplifie, il est nécessaire qu'elle l'instancie, mais que toutes les représentations ne semblaient pas instancier les caractéristiques qu'elles exemplifient. Les peintures peuvent exemplifier la sagesse de leur cible, et les pendules simples peuvent exemplifier la masse du balancier de leur cible, mais les peintures ne peuvent pas être sages et les pendules simples, en tant qu'objets abstraits irréalisables matériellement, ne peuvent pas posséder une certaine masse.

²³⁵ Catherine Z. ELGIN, « Telling Instances », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, op. cit., p. 7–9.

²³⁶ Catherine Z. ELGIN, « Casting in Bold Relief », dans *True enough*, Cambridge (Mass.), the MIT press, 2017.

²³⁷ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 258.

²³⁸ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, op. cit., p. 152–157.

Elgin et Goodman proposent deux solutions à ce problème. La première fait appel à la notion d'*exemplification métaphorique*, et donc d'*instanciation métaphorique*²³⁹. La peinture qui exemplifie la sagesse de sa cible (et les autres cas similaires) instancierait et donc exemplifierait métaphoriquement la sagesse. De même, un morceau de musique peut exemplifier métaphoriquement la tristesse, ou la colère. La seconde consiste à dire que ce que le pendule simple (et les autres cas similaires) exemplifie en réalité, c'est la magnitude de la masse du pendule, c'est-à-dire une propriété mathématique abstraite, que le pendule instancie à travers sa masse physique concrète. Les modèles exemplifieraient donc bien certaines caractéristiques de leur cible, mais pas forcément des caractéristiques concrètes²⁴⁰.

Ces solutions ne sont pas pleinement satisfaisantes. En effet, elles ne précisent pas comment savoir dans quels cas nous avons affaire aux caractéristiques métaphoriques, et dans quels cas il faut plutôt faire appel aux caractéristiques abstraites. Elgin et Goodman ne donnent que des exemples et des intuitions, ce qui ne peut suffire dans le cadre d'une caractérisation philosophique de ces notions. Nous avons donc deux solutions au même problème sans moyen clair de les départager ou de les faire coexister. De plus, puisqu'une réelle caractérisation ne nous est pas proposée, ce que des caractéristiques métaphoriques ou abstraites sont exactement n'est pas clair²⁴¹.

1.9.2. Identifier une *p*-représentation

Les *p*-représentations, pour Elgin, font typiquement partie d'une classe d'objets qui dénotent (la classe des illustrations ou celle des modèles réduits par exemple), et sont définies par le genre auquel elles appartiennent. Nous apprenons à classifier les *p*-représentations dans le bon genre au cours de notre vie²⁴². Dans le cas des représentations picturales, ceci est assez intuitif et fonctionnel, le dessin d'une fée est une fée-représentation parce qu'elle appartient au genre des représentations qui représentent une fée, et nous parvenons à le déterminer non pas parce que nous avons déjà vu des fées (puisque celles-ci n'existent pas), mais parce que nous avons déjà vu d'autres représentations de fée et qu'on nous a déjà expliqué qu'il s'agissait de représentations de fée.

²³⁹ Nelson GOODMAN, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, op. cit., p. 50–51 ; Catherine Z. ELGIN, *With reference to reference*, op. cit., p. 81.

²⁴⁰ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 258.

²⁴¹ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, op. cit., p. 153.

²⁴² Catherine Z. ELGIN, *True enough*, op. cit., p. 251–252.

Dans le cas des représentations scientifiques, cette solution s'avère moins satisfaisante. En effet, beaucoup de modèles scientifiques concrets n'appartiennent pas à une classe d'objets qui typiquement dénotent. On peut par exemple penser aux organismes modèles comme certaines mouches, souris ou vers de terre, mais aussi aux bassins utilisés pour modéliser des comportements ondulatoires, ou aux boules de billard qui peuvent être employées pour représenter le comportement d'objets quelconques qui s'entrechoquent. Il en va de même pour les objets mathématiques utilisés en sciences, qui sont souvent étudiés indépendamment de leurs applications représentationnelles par les scientifiques, voire sont établies bien avant d'être utilisées par les scientifiques. On peut penser aux matrices, aux tenseurs, ou aux espaces d'Hilbert notamment.

On voit donc que la notion de genre ne nous aide pas à réellement comprendre ce qui fait des modèles des p -représentations, une analyse plus précise et détaillée de cette notion est nécessaire²⁴³.

1.9.3. L'imputation

Une dernière difficulté de la conception d'Elgin vient de la manière dont elle traite la notion d'imputation. La thèse la plus naïve voudrait que les caractéristiques exemplifiées par une représentation soient à imputer directement à sa cible. Ce n'est évidemment pas le cas. Si une caricature d'Einstein le présente avec un très gros crâne, ce n'est pas pour lui imputer cette particularité anatomique, mais plutôt pour lui imputer une grande intelligence. De même, un papier de tournesol peut être utilisé pour estimer vaguement le potentiel hydrogène d'une solution : trempé dans une solution acide, il devient rouge, dans une solution basique, il devient bleu. Si le papier est rouge, qu'il exemplifie la coloration rouge, nous ne devons pas pour autant imputer au liquide cette coloration, mais plutôt l'acidité. Le même raisonnement peut être mené avec les cartes et le territoire qu'elle représente : une carte exemplifie une certaine distance entre deux de ses points, mais n'impute pas directement cette distance à ce qui sépare les deux points correspondants dans le territoire réel, elle impute plutôt une autre distance, généralement plus grande, reliée à celle sur la carte par une échelle.

Elgin est consciente de cette difficulté, c'est pourquoi elle dit que les caractéristiques à imputer à la cible d'une représentation sont celles qu'elle exemplifie *ou des caractéristiques connexes*²⁴⁴. L'intelligence est reliée à la boîte crânienne au volume important par une chaîne

²⁴³ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 155.

²⁴⁴ Catherine Z. ELGIN, *True enough*, *op. cit.*

de références, et il en va de même pour la coloration du papier de tournesol et le potentiel hydrogène de la solution dans laquelle il est trempé. Le problème de cette solution est que la notion de *caractéristique connexe* est floue. Toute caractéristique peut, d'une manière ou d'une autre, être reliée à toute autre. Il faut donc développer cette idée en précisant à quel genre de connexion nous avons affaire dans le cas des représentations scientifiques, et comment elle est établie²⁴⁵.

Dans la section suivante, je présente et analyse la conception DEKI et comment elle propose d'améliorer celle d'Elgin.

2. La conception DEKI

Pour élaborer leur propre conception de la représentation scientifique, Frigg et Nguyen reprennent de celle d'Elgin les notions de *p*-représentation (qu'ils appellent « Z-représentation », terme que je reprends également à partir d'ici), d'interprétation, d'instanciation, d'exemplification et d'imputation. Ils analysent chacune de ces notions pour en proposer une définition originale, et les combinent pour obtenir leur conception DEKI. Suivant leur propre cheminement²⁴⁶, je vais présenter chacune de leurs analyses jusqu'à arriver à la conception complète, pour ensuite regarder quelle solution elle propose pour chacun des problèmes et comment elle remplit chacune des conditions. Il faut noter que cette conception est d'abord conçue pour rendre compte de comment fonctionnent les modèles concrets au niveau représentationnel, c'est donc sur ces derniers que je me concentre d'abord, pour me pencher sur les modèles abstraits dans un second temps.

2.1. Comment créer une Z-représentation ?

Frigg et Nguyen introduisent une distinction utile concernant les représentations concrètes entre une représentation en tant que représentation et en tant qu'objet matériel qui existe indépendamment de ses vertus représentationnelles. L'objet concret qui « porte » la représentation, le *vecteur*, est désigné par la lettre *X*, et les caractéristiques du vecteur en tant qu'objet matériel sont appelées « caractéristiques de *X* ». À l'inverse, ses caractéristiques en tant que Z-représentation sont les « caractéristiques de *Z* ».

La question est donc : comment transformer un *X* en Z-représentation ? La réponse est la suivante : en interprétant certaines caractéristiques de *X* en caractéristiques de *Z*. Mais pour

²⁴⁵ *Ibid.*, p. 156.

²⁴⁶ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 159–213.

que cette réponse soit satisfaisante, il faut expliquer en quoi cela consister exactement d'interpréter dans ce contexte. Ici, interpréter consiste à connecter certaines caractéristiques de X à certaines caractéristiques de Z , en prenant en compte que parmi les caractéristiques, certaines sont des caractéristiques qualitatives, d'autres sont quantitatives, ce sont des *variables*. Les caractéristiques qualitatives sont pour ainsi dire binaires, soit elles sont là, soit elles ne sont pas là. On peut penser à des caractéristiques comme « avoir une valve à tel endroit » pour une machine de Phillips-Newlyn. Les variables, elles, peuvent prendre tout un éventail de valeur qui peuvent changer au cours de l'utilisation de X .

Avec ces éléments à l'esprit, nous obtenons une définition de l'interprétation et une des Z -représentations qui seront celles utilisées pour construire la conception DEKI. Cela donne :

« Interprétation : soit n un entier et soit $E_X = \{X_1, \dots, X_n\}$ un ensemble de caractéristiques de X et $E_Z = \{Z_1, \dots, Z_n\}$ un ensemble de caractéristiques de Z . Les éléments des deux ensembles sont soit des caractéristiques qualitatives, soit des variables. Une interprétation est une bijection $I : E_X \rightarrow E_Z$ telle que :

- (i) chaque caractéristique de X est mise en correspondance avec une caractéristique de Z du même type (c'est-à-dire, une caractéristique qualitative avec une caractéristique qualitative et une variable avec une variable) ;
- (ii) pour chaque variable X_i , mise en correspondance avec une variable $Z_j = I(X_i)$ grâce à I , il y a une fonction $f_i : x_i \rightarrow z_j$ associant une valeur de Z_j à chaque valeur de X_i »²⁴⁷.

Cette définition permet de définir ce qu'est une Z -représentation : une Z -représentation est une paire $\langle X, I \rangle$ où X est un objet et I est une interprétation.

Une Z -représentation est donc toujours accompagnée d'une interprétation, même si elle n'est que sous-entendue, supposée, ou communiquée par le contexte, et un changement d'interprétation implique un changement de Z -représentation (et inversement).

À partir de la définition de Z -représentation, Frigg et Nguyen en proposent également une pour les modèles : « un modèle M est une Z -représentation, $M = \langle X, I \rangle$, où X est choisi par un·e scientifique (ou un groupe de scientifiques) pour être un vecteur dans un certain contexte de modélisation et I est une interprétation »²⁴⁸. Les modèles, proposent-ils donc, ne sont pas de quelconques représentations, ce sont des Z -représentations, mais ils ne se distinguent des autres Z -représentations que par leur contexte d'élaboration et leurs objectifs épistémiques

²⁴⁷ *Ibid.*, p. 168, je traduis.

²⁴⁸ *Ibid.*, p. 169, je traduis.

particuliers, à savoir des objectifs scientifiques, c'est-à-dire des objectifs de connaissance et de compréhension mis en place par un·e scientifique ou des scientifiques et généralement assez exigeants par rapport aux objectifs des autres Z -représentations.

Le choix de l'objet qui servira de modèle, le vecteur, est essentiellement pragmatique²⁴⁹. Les scientifiques choisissent des vecteurs qui ont des caractéristiques et des comportements qui les intéressent en fonction du contexte de leur recherche et de ce qu'ils sont capables d'élaborer et de mettre en place, mais en dehors de ces contraintes pragmatiques, ils sont parfaitement libres dans leur choix. De la même manière, le choix des caractéristiques qui constitueront E_X et E_Z est complètement libre. Mais une fois que ce choix est fait, le contenu représentationnel est hautement contraint. C'est en étudiant le comportement contraint de leurs modèles que les scientifiques peuvent réaliser des raisonnements à propos de leurs cibles.

Concernant Z , cela peut être n'importe quoi appartenant à un certain domaine de discours, du moment que cela peut faire sens dans un certain contexte²⁵⁰. En outre, E_X et E_Z ne doivent pas forcément contenir toutes les caractéristiques de X et Z (respectivement), mais ils peuvent contenir des caractéristiques identiques, comme c'est le cas avec beaucoup de modèles réduits : un modèle réduit de bateau est une bateau-représentation donc le vecteur est lui-même un bateau, et en tant que modèle, il met en connexion des caractéristiques de bateau avec des caractéristiques de bateau.

Enfin, même si, une fois définie, une interprétation pose des contraintes dans l'utilisation d'une Z -représentation, rien n'empêche d'en changer, comme ce fut le cas avec la machine de Phillips-Newlyn. Cette économie-représentation représentant le flux monétaire d'une économie grâce au flux de l'eau qu'elle contient avait des fuites. Ceci fut d'abord perçu comme un défaut, avant d'être adopté comme une caractéristique à part entière, en proposant une nouvelle interprétation qui intègre les fuites comme la quantité d'argent partant dans le marché noir²⁵¹. Autre exemple, lorsque Dirac découvrit que son équation comprenait des solutions négatives, ces dernières ne furent pas considérées comme représentant quoi que ce soit physiquement parlant, elles ne faisaient pas partie de l'interprétation de l'équation de Dirac. Mais une fois les positrons découverts, l'interprétation fut modifiée pour intégrer ces solutions

²⁴⁹ *Ibid.*, p. 170.

²⁵⁰ *Ibid.*, p. 171.

²⁵¹ Marcel J. BOUMANS, Mary S. MORGAN, « Secrets hidden by two-dimensionality: the economy as a hydraulic machine », dans Soraya DE CHADAREVIAN et Nick HOPWOOD (éds.), *Models : The Third Dimension of Science*, Stanford, Stanford University Press, 2004, n. 14.

négatives²⁵², elles venaient de trouver un sens physique. L'interprétation d'un vecteur donné peut donc changer avec le temps et les besoins.

2.2. Exemplifier des caractéristiques de Z

Comme nous l'avons vu, de nombreuses représentations scientifiquesinstancient des caractéristiques que leurs vecteurs n'instancient pas, et il était jusqu'ici compliqué de comprendre comment cela était possible, et donc de comprendre comment elles pouvaient exemplifier les caractéristiques qu'elles devaient exemplifier (des caractéristiques économiques comme les budgets gouvernementaux ou les impôts pour la machine de Phillips-Newlyn par exemple). Avec la notion d'interprétation développée dans la section précédente, cette difficulté disparaît, puisqu'on peut élaborer la notion de « instanciation sous une interprétation », ou I -instanciation. Cela donne :

« I -instanciation : un modèle $M = \langle X, I \rangle$ I -instancie Z_j , une caractéristique de Z , si et seulement si X instancie X_i , une caractéristique de X , telle que : X_i est mise en connexion avec Z_j grâce à I , et si X_i et Z_j sont des variables alors I contient une fonction f telle que $z_j = f(x_i)$ »²⁵³.

Il faut donc que le vecteur instancie une caractéristique pour que le modèle puisse instancier la caractéristique correspondante. Avec cette nouvelle notion d' I -instanciation, nous pouvons directement obtenir une nouvelle notion relative à l'exemplification, l' I -exemplification. Il suffit de remplacer « instanciation » par « I -instanciation » dans la définition de l'exemplification donnée à la fin de la section 1.4 de cette partie :

« I -exemplification : un modèle $M = \langle X, I \rangle$ I -exemplifie Z_j , une caractéristique de Z , dans un contexte C si et seulement si M I -instancie Z_j et Z_j est mise en lumière dans C , Z_j étant mise en lumière dans C si et seulement si C sélectionne Z_j comme caractéristique pertinente et Z_j est épistémiquement accessible dans C »²⁵⁴.

Z_j étant directement connectée à X_i , qui est une caractéristique de X , Z_j est épistémiquement accessible si et seulement si X_i l'est aussi. On peut se demander si, puisque E_Z est construit, toutes les caractéristiques qu'il contient sont automatiquement sélectionnées comme pertinentes et rendues épistémiquement accessibles. Ce n'est pas le cas²⁵⁵. Une interprétation peut comprendre des caractéristiques de X qui sont ignorées ou volontairement négligées. Reprenons l'exemple des fuites de la machine de Phillips-Newlyn. Le flux de son

²⁵² Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 191.

²⁵³ *Ibid.*, p. 172, je traduis.

²⁵⁴ , je traduis. *Ibid.*

²⁵⁵ *Ibid.*, p. 173.

eau étant compris dans l'interprétation dès le début, les fuites l'étaient aussi, et la machine *I*-instanciaila la caractéristique de perdre de l'argent. Cependant, les fuites ne furent exemplifiées qu'à partir du moment où elles furent prises pour représenter l'argent partant dans le marché noir, ce qui du même coup *I*-exemplifia cet argent.

2.3. De l'exemplification à l'imputation

Jusqu'ici, les notions redéfinies par Frigg et Nguyen pour leur conception n'impliquent pas l'existence d'une cible. Ceci sera évidemment pertinent pour inclure les représentations sans cibles dans leur analyse, mais de nombreuses représentations possèdent d'une cible, et c'est pour rendre compte du rapport entre une représentation et sa cible que la notion d'imputation avait été introduite par Elgin. Une représentation *I*-exemplifie certaines caractéristiques de *Z* et les impute à sa cible. Ce ne sont cependant que rarement les exactes caractéristiques qui sont imputées, mais plutôt des caractéristiques proches, connexes, ou des approximations. Une carte du monde élaborée grâce à la projection de Mercator, par exemple, exemplifiera une certaine superficie du Groenland par rapport à celle de l'Afrique que le fera apparaître aussi grand qu'elle, mais ce n'est pas cette taille-là qu'il faut imputer au Groenland réel, mais plutôt une autre taille, connectée à la première par une formule qui inverse les modifications causées par la projection.

Cependant, les notions de proximité, d'approximation, ou de connexion restent assez floues. Il est possible d'adopter une approche contextualiste et de dire que le contexte permet toujours de savoir comment modifier les caractéristiques *I*-exemplifiées pour obtenir celles à imputer, mais Frigg et Nguyen préfèrent intégrer ceci directement à leur conception. Afin de caractériser un peu plus la relation entre les caractéristiques *I*-exemplifiées et celles à imputer, ils proposent qu'il existe toujours une « clé » qui relie les caractéristiques de *Z* exemplifiées par la représentation et les caractéristiques imputées à la cible. La clé indique quelles modifications appliquer aux caractéristiques exemplifiées pour obtenir celles à imputer.

« Soit Z_1, \dots, Z_m les caractéristiques de *Z* *I*-exemplifiées par une représentation, et soit Q_1, \dots, Q_l les caractéristiques que la représentation impute à *T* (*m* et *l* sont entiers qui peuvent être égaux, mais ne doivent pas l'être). La représentation doit venir avec une clé *K* spécifiant comment les caractéristiques Z_1, \dots, Z_m sont converties en Q_1, \dots, Q_l . Cela donne :

Clé *K* : soit $M = \langle X, I \rangle$ une représentation scientifique et soit Z_1, \dots, Z_m les caractéristiques de *Z* exemplifiées par *M*. Une clé *K* associe l'ensemble $\{Z_1, \dots, Z_m\}$ avec un

ensemble $\{Q_1, \dots, Q_l\}$ de caractéristiques de Z qui sont candidats pour être imputé à T . On a $K(\{Z_1, \dots, Z_m\}) = \{Q_1, \dots, Q_l\}$ »²⁵⁶.

Telle quelle, K est une fonction vide à remplir avec la relation adéquate en fonction d'une myriade de facteurs tels que la discipline scientifique, le contexte, les objectifs et présupposés des scientifiques, l'arrière-plan théorique, etc. L'intégrer directement dans la conception ne contraint à utiliser aucune clé plutôt qu'une autre. Dans certains cas la clé sera l'identité, dans d'autres la similarité, dans d'autres encore un morphisme, etc. La clé peut même mettre en rapport les caractéristiques exemplifiées avec des caractéristiques totalement différentes. De plus la clé n'a pas besoin d'être explicite. Elle peut être sous-entendue implicitement ou considérée comme évidente. La seule exigence de la conception DEKI est qu'il existe une clé K .

2.4. La conception enfin complète

Tous ces éléments redéfinis, Frigg et Nguyen proposent enfin leur propre conception de la représentation scientifique dans le cas des modèles concrets qui ont une cible. Cela donne :

« DEKI : soit $M = \langle X, I \rangle$ un modèle scientifique. M est une représentation épistémique de sa cible T si et seulement si M représente T en tant que Z , où M représente T en tant que Z si et seulement si toutes les conditions suivantes sont satisfaites :

- (i) M dénote T (et, dans certains cas, les parties de M dénotent des parties de T).
- (ii) M I -exemplifie Z_1, \dots, Z_m , des caractéristiques de Z .
- (iii) M vient avec une clé K associant l'ensemble $\{Z_1, \dots, Z_m\}$ avec un ensemble de caractéristiques $\{Q_1, \dots, Q_l\} : K(\{Z_1, \dots, Z_m\}) = \{Q_1, \dots, Q_l\}$.
- (iv) M impute au moins une des caractéristiques Q_1, \dots, Q_l à T »²⁵⁷.

Le nom de la conception vient de ses composantes : Dénotation, Exemplification, *Key* (clé), et Imputation. Il est important de noter que tous les ensembles peuvent contenir des caractéristiques de n'importe quelle nature et de n'importe quel niveau d'abstraction, et ces caractéristiques peuvent dépendre les unes des autres. Également, l'ordre des conditions est un ordre logique, et non un ordre temporel²⁵⁸. Il est tout à fait possible d'élaborer des modèles en commençant par spécifier une clé ou par exemplifier certaines caractéristiques.

La conception DEKI est une conception générale et doit être concrétisée pour chaque instance particulière de modélisation²⁵⁹. C'est une structure, un squelette. Elle n'est ni trop

²⁵⁶ *Ibid.*, p. 175, je traduis.

²⁵⁷ *Ibid.*, p. 176, je traduis.

²⁵⁸ *Ibid.*, p. 178.

²⁵⁹ *Ibid.*, p. 179.

générale, ni trop spécifique. Parmi les autres conceptions que nous avons vues, elle occupe une place de choix entre les conceptions qui sont trop générales et refusent de dire quoi que ce soit de spécifique, comme la conception inférentielle, et celles qui sont au contraire trop spécifiques et ne parviennent donc pas à prendre en compte un large éventail de représentations scientifiques, comme la conception structuraliste ou celle par similarité.

2.5. Les problèmes et caractéristiques, et quelques remarques

Comme celle d'Elgin, la conception DEKI rejette le problème de la démarcation et s'applique autant aux représentations artistiques qu'aux représentations scientifiques. Concernant le problème des styles, cette conception n'offre pas de réponse spécifique à son propos, puisqu'elle n'impose pas de clé ou d'interprétation particulière, mais elle donne un cadre de recherche ou chercher les différents styles²⁶⁰. Certains styles dépendant du vecteur de la représentation, d'autres de l'interprétation, et d'autres encore de la clé utilisée. Vis-à-vis du problème de la précision, la conception DEKI nous dit qu'une représentation est exacte dans la mesure où elle impute à sa cible des caractéristiques que celle-ci possède réellement. Enfin, le statut ontologique d'un vecteur n'est pas problématique lorsque celui-ci est matériel, et pour les vecteurs des modèles abstraits, Frigg et Nguyen sont des avocats de longue date de la solution de la conception fictionnelle indirecte selon laquelle ce sont des fictions²⁶¹, ce qui leur permet de réintégrer les modèles abstraits dans leur conception. Un modèle M est une paire $\langle X, I \rangle$ où X est un objet matériel dans le cas des modèles concrets, et un objet fictif obtenu par description dans le cas des modèles abstraits²⁶².

Pour ce qui est du raisonnement inférentiel, il est très clairement pris en compte²⁶³ : un·e utilisateur·rice identifie quelles caractéristiques sont exemplifiées par la représentation, les transforme en d'autres caractéristiques grâce à la clé, puis les impute à la cible. Il est donc parfaitement possible de mener des raisonnements à l'aide d'une représentation à propos de sa cible dans le cadre de la conception DEKI. Les représentations ratées aussi y sont possibles, puisque rien n'oblige à ce que les caractéristiques imputées à la cible soient réellement instanciées par celle-ci. Les représentations sans cible sont également possibles, puisqu'être

²⁶⁰ *Ibid.*, p. 180.

²⁶¹ Voir notamment Roman FRIGG, « Models and fiction », *Synthese*, vol. 172, n° 2, 2010 ; Roman FRIGG, James NGUYEN, « Seven Myths About the Fiction View of Models », dans Alejandro CASSINI et Juan REDMOND (éds.), *Models and Idealizations in Science: Artifactual and Fictional Approaches*, *op. cit.*

²⁶² Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 185–191. On peut noter que la conception DEKI est ontologiquement très flexible et fonctionne également si on prend les modèles abstraits pour être des structures plutôt que des objets fictifs par exemple [*Ibid.*, p. 189–191].

²⁶³ *Ibid.*, p. 180.

une Z -représentation ne demande pas d'avoir une cible et que toutes les représentations scientifiques sont des Z -représentations. L'intérêt des écarts entre une représentation et sa cible s'explique à nouveau par l'exemplification, ici augmentée de la notion d'interprétation. Concernant l'application des mathématiques, Frigg et Nguyen y consacre un long développement²⁶⁴ que je ne présenterai pas en détail ici, mais dont le cœur est qu'il est possible, sous certaines conditions, d'attribuer une structure à un objet, matériel ou fictif, puis de décrire cette structure et de prendre ses éléments (objets comme relations) pour être des caractéristiques de X . Enfin, la directionnalité est gérée, comme précédemment, par la dénotation.

Une dernière remarque : déjà avec la conception d'Elgin, mais encore plus avec celle de Frigg et Nguyen, le sens de l'expression « X représente Y en tant que Z » s'est éloigné de son usage dans le langage courant. En temps normal, par exemple, nous serions tentés de dire quelque chose comme « la machine de Phillips-Newlyn représente l'économie du Royaume-Uni en tant qu'un système de réservoirs et de pompes »²⁶⁵. Pour Elgin comme pour la conception DEKI, cette proposition, si prononcée dans le cadre d'une conception de la dimension représentationnelle des modèles scientifiques, est fautive, et vient d'une confusion entre X et Z . Dans ce cadre, un modèle $M = \langle X, I \rangle$ représente sa cible T en tant que Z , et Z est introduit grâce à l'interprétation. M ne représente pas sa cible en tant que X ²⁶⁶. Comme souvent en sciences et en philosophie, le sens technique de *representation as* est plus contraint et précis que celui du langage courant.

2.6. Une rapide étude de cas : le modèle des gaz parfaits

Tout au long de l'élaboration de leur conception, Frigg et Nguyen l'appliquent à un modèle concret : la machine de Phillips-Newlyn²⁶⁷. Afin de comprendre avec un exemple différent comment les outils de la conception DEKI se déploient, je propose de l'appliquer à un modèle abstrait et très idéalisé : le modèle des gaz parfaits. Un gaz parfait est un gaz composé de particules ponctuelles, donc sans volume, qui se déplacent au hasard, et qui ne sont soumises à aucune force intermoléculaire. Aucun gaz réel ne pouvant correspondre à ces caractéristiques, les gaz parfaits sont des constructions théoriques idéalisées, des fictions. Ils présentent un avantage important face aux gaz réels, celui de pouvoir être adéquatement décrit par une équation d'état simple, l'équation des gaz parfaits :

²⁶⁴ *Ibid.*, p. 191–195.

²⁶⁵ *Ibid.*, p. 182–183.

²⁶⁶ Je remercie Roman Frigg et James Nguyen d'avoir gentiment accepté de répondre à mes questions à ce sujet.

²⁶⁷ Roman FRIGG, James NGUYEN, *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, *op. cit.*, p. 159–184.

$$PV = nRT$$

où P est la pression du gaz (en pascals), V est le volume du gaz (en mètres cubes), n est la quantité de matière dans le gaz (en moles), R est la constante universelle des gaz parfaits, et T est la température absolue (en Kelvin).

Admettons qu'un·e scientifique souhaite déterminer la pression d'un gaz réel G dont iel a mesuré qu'il prend un volume V_G , a une quantité de matière n_G , et est à une température T_G . Iel n'a pas besoin d'une réponse d'une très grande précision, mais simplement d'un ordre de grandeur, et décide donc d'utiliser le modèle des gaz parfaits pour trouver la réponse désirée. Notre question est la suivante : comment la conception DEKI décrit-elle la relation qui existe entre le gaz réel et le modèle des gaz parfaits dans ce cas-ci ? Passons chacune des conditions en revue.

La conception DEKI nous dit qu'un modèle est une Z -représentation, donc une paire composée d'un objet, le vecteur, et d'une interprétation qui associe les caractéristiques du vecteur à des caractéristiques de Z , ce dernier pouvant être à peu près n'importe quoi. Ici, Z correspond aux gaz parfaits. Le modèle des gaz parfaits est une gaz-parfait-représentation. Étant un modèle théorique et abstrait, il ne possède pas de vecteur à proprement parler, mais le modèle nous invite à imaginer qu'il existe un gaz possédant telle et telle caractéristique, et que c'est ce gaz fictif qui est le vecteur. Le gaz parfait fictif étant déjà un Z , nous n'avons pas besoin d'utiliser l'interprétation pour faire correspondre ses caractéristiques en tant que vecteur en caractéristiques de Z , l'interprétation fait correspondre chaque caractéristique avec elle-même. Nous avons donc, dans notre cas, que le modèle des gaz parfaits représente G en tant que gaz parfait, c'est une gaz-parfait-représentation de G . Pour ce faire, en tant qu'il est utilisé par notre scientifique, notre modèle doit remplir quatre conditions.

Premièrement, il doit dénoter G . Ici, ceci est sans doute établi par stipulation. Notre scientifique annonce simplement « pour déterminer la pression de G , je vais utiliser la loi des gaz parfaits ». De ce fait, iel stipule que le modèle des gaz parfaits, décrit par la loi des gaz parfaits, sera utilisé pour représenter G , un gaz réel, et donc que le modèle dénote G .

Deuxièmement, il doit exemplifier des caractéristiques des gaz parfaits. Pour exemplifier des caractéristiques, le modèle doit les instancier, elles doivent être sélectionnées comme importantes par le contexte, et être épistémiquement accessibles dans le contexte. Étant lui-même un gaz parfait, le modèle instancie trivialement toutes les caractéristiques d'un gaz parfait. Certaines sont de plus sélectionnées comme importantes et épistémiquement accessibles puisque le modèle vient accompagné de la connaissance de certaines des valeurs de ses variables, celles que la scientifique connaît pour G et attribue donc au gaz parfait (son volume,

sa quantité de matière et sa température), et de sa description, la loi des gaz parfaits (qui sélectionne et rend épistémiquement accessible le rapport qu'entretiennent la pression, le volume, la quantité de matière, et la température du gaz parfait). Moyennant un rapide calcul que notre scientifique effectuera sans difficulté, le modèle exemplifie également la pression du gaz parfait. En effet, en isolant P dans l'équation des gaz parfaits, nous trouvons que

$$P = \frac{nRT}{V}.$$

Dans le cas de notre gaz parfait possédant le volume V_G , la température T_G , et la quantité de matière n_G de G que la scientifique a pu déterminer, avec P_G la pression de ce gaz parfait, on obtient :

$$P_G = \frac{n_G * R * T_G}{V_G}.$$

Le modèle exemplifie donc également la pression du gaz parfait.

Troisièmement, le modèle vient avec une clé qui associe les caractéristiques qu'il exemplifie aux caractéristiques de G . Pour le volume, la quantité de matière et la température, cette clé est l'identité, puisque c'est G qui a donné au modèle ses valeurs concernant ces caractéristiques, et non l'inverse. Pour la pression, en revanche, ce n'est pas le cas. La pression du modèle a été déterminée en utilisant la loi des gaz parfaits, et cette loi n'est vraie à propos d'aucun gaz réel, elle est donc fautive à propos de G si on l'applique littéralement et sans modification. Notre scientifique le sait, et iel n'affirmera donc pas que la valeur exacte de la pression de G est celle trouvée en utilisant la loi des gaz parfaits. Dans ce cas-ci, la clé est plutôt l'approximation : la clé transforme la caractéristique exemplifiée par le modèle, sa pression p , en une caractéristique de G de la forme « approximativement p ».

Quatrièmement, notre scientifique impute à G la caractéristique obtenue via application de la clé. Iel annonce : « la pression de G est d'approximativement p pascals ». Ceci termine son utilisation du modèle en tant que représentation de G .

Cette courte étude de cas montre bien comment le modèle des gaz parfaits peut être utilisé pour représenter des gaz réels et en apprendre plus sur ces derniers et leur fonctionnement, mais aussi l'intérêt de l'idéalisation pour rendre épistémiquement accessibles certaines caractéristiques d'abord du modèle, ensuite de G — ici la pression. Moyennant quelques ajustements, des études de cas similaires pourraient être menées pour d'autres modèles concrets comme abstraits.

2.7. Une discussion récente : la conception DEKI et la justification

Dans deux articles de 2023²⁶⁸, Jared Millson et Mark Risjord affirment que la conception DEKI est mise en défaut par son incapacité à différencier les raisonnements inférentiels justifiés de ceux injustifiés. Dans cette section, je reviens sur certaines de leurs critiques, j’y réponds, et je montre en quoi ces deux philosophes soulèvent un réel défi pour la conception de Frigg et Nguyen (et pour toute conception de la représentation épistémique), mais situent mal le problème. Spécifiquement, ils concentrent leurs critiques sur l’usage de la notion de dénotation par la conception DEKI, alors que c’est de la notion d’interprétation qu’émerge le défi. Je suggère donc que, si leur thèse contient un fond de vérité, elle est issue d’une mécompréhension du rôle des différentes conditions de la conception de Frigg et Nguyen. Enfin, je propose une analyse de leur défi qui montre qu’y répondre n’est pas le rôle d’une conception de la représentation, mais constitue plutôt un champ de recherche orthogonal à celui de l’établissement d’une conception de la représentation dans lequel s’inscrit la conception DEKI.

2.7.1. La carte de Susan

Afin de défendre leur thèse et de clarifier ce qu’ils entendent par raisonnement inférentiel justifié et injustifié, Millson et Risjord prennent l’exemple de deux touristes, Susan et Zoé, qui parcourent chacune indépendamment Paris²⁶⁹. Imaginons, disent-ils, que Susan souhaite aller de la tour Eiffel au Jardin des Tuileries, et que, pour ce faire, elle consulte ce qu’elle croit être une carte de Paris, mais est en réalité une carte de Prague. Par chance, elle parvient malgré tout, en utilisant sa carte, à établir des propositions vraies à propos de Paris (« tel pont mène au quartier où se situe le Jardin » par exemple) et à atteindre le Jardin. En parcourant Paris avec sa carte, Susan mène un certain nombre de raisonnements à propos de la carte elle-même avant de les appliquer à la ville de Paris, mais, sa carte étant une carte de Prague et non de Paris, l’intuition nous dit que Susan n’est pas justifiée dans ses raisonnements. Imaginons maintenant que Zoé est dans l’exacte même situation que Susan à ceci près que sa carte est une carte de Paris. Comme Susan, Zoé utilise sa carte pour parcourir la ville, mais contrairement à Susan, puisqu’il s’agit d’une carte de Paris, ses raisonnements sont justifiés.

²⁶⁸ Jared MILLSON, Mark RISJORD, « DEKI, Denotation, and the Fortuitous Misuse of Maps », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023; Jared MILLSON, Mark RISJORD, « DEKI and the Justification of Surrogate Inference », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023.

²⁶⁹ Jared MILLSON, Mark RISJORD, « DEKI, Denotation, and the Fortuitous Misuse of Maps », dans Insa LAWLER et al. (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, op. cit., p. 280–281.

Une bonne conception des représentations scientifiques, affirment Millson et Risjord, doit être capable de faire la différence entre le cas de Susan et celui de Zoé, c'est-à-dire entre les raisonnements justifiés et injustifiés menés avec une représentation à propos de sa cible, et la conception DEKI n'en est pas capable²⁷⁰. Crucialement, ils s'attaquent en premier lieu à l'utilisation de la notion de dénotation par la conception DEKI, affirmant que celle-ci ne suffit pas pour comprendre pourquoi Susan n'est pas justifiée dans ses raisonnements alors que Zoé l'est. C'est vrai. Mais il me semble que Millson et Risjord se trompent sur le rôle et le fonctionnement de la dénotation dans la conception DEKI. La dénotation n'est en aucun cas présente pour permettre, à elle seule, la génération de raisonnements à propos de la cible, et encore moins pour différencier les raisonnements justifiés de ceux injustifiés. Il n'y a pas de raison de s'attendre à ce que toutes les conditions puissent indépendamment prendre cette fonction en charge. La dénotation n'est là que pour indiquer de quoi une représentation est la représentation, ce qu'elle cherche à représenter, c'est-à-dire désigner la cible. Afin de le montrer, je reprends leur exemple de Susan et sa carte de Prague, et je montre en quoi Millson et Risjord se trompent sur ce que cette carte dénote quand Susan l'utilise pour parcourir Paris.

2.7.2. La dénotation dans la conception DEKI

Pour Millson et Risjord, la carte de Susan, puisqu'il s'agit d'une carte de Prague, dénote Prague²⁷¹. Cette idée soutient tout leur argumentaire. C'est pourtant leur première erreur. En effet, pour que ce soit vrai, il faudrait que, qu'elle soit en train d'être utilisée ou non, la carte de Susan dénote en permanence Prague, mais ce n'est pas le cas. Hors de toute utilisation, la carte ne dénote rien du tout. Aucune représentation ne dénote dans l'absolu, la dénotation vient de l'usage. Tant qu'elle n'est pas utilisée pour raisonner à propos d'un territoire, une carte ne dénote aucun territoire. En l'utilisant pour se déplacer dans Paris, en pensant que c'est une carte de Paris et non de Prague, Susan fait dénoter Paris par sa carte. Regardons comment cela s'exprime dans le cadre de la conception DEKI. Pour cette conception, nous l'avons vu, une représentation épistémique M représente sa cible T si et seulement M représente T en tant que Z . Pour comprendre ce que la conception DEKI dit de Susan utilisant sa carte, il faut donc identifier ce qui correspond à M , T et Z . M , c'est assez simple, est la carte en tant que représentation d'un territoire. Elle est composée d'un vecteur X , la carte en tant qu'objet en papier (que j'appellerai la *carte-vecteur*), et d'une interprétation I , sur laquelle nous nous pencherons bientôt. T est la cible, c'est le territoire auquel Susan rapporte la carte lorsqu'elle

²⁷⁰ *Ibid.*, p. 282–283.

²⁷¹ *Ibid.*, p. 281.

l'utilise. C'est Susan qui établit T , ce n'est pas la carte. Ici, c'est la ville de Paris. Z , pour sa part, peut-être déduite de l'interprétation I utilisée. Un·e utilisateur·rice qui interprète certaines caractéristiques de M comme des caractéristiques de Z fait de M une Z -représentation. En toute généralité, les caractéristiques des cartes en tant que vecteur sont interprétées comme des caractéristiques de territoires. Telle ligne représente une route, telle autre, une frontière, etc. Les cartes sont donc des territoire-représentations. Dans le cas de Susan, il est clair qu'elle interprète les caractéristiques de la carte-vecteur comme des caractéristiques du territoire de Paris. Son interprétation en fait donc une territoire-de-Paris-représentation. C'est ceci qui constitue son mésusage, pas la dénotation. Nous voudrions que Susan interprète les caractéristiques de sa carte comme des caractéristiques du territoire de Prague, et non de celui de Paris.

On pourrait penser que la solution se trouve dans la notion de clé²⁷² : Susan se trompe non pas parce que sa carte ne dénote pas Paris, mais parce qu'elle n'utilise pas la bonne clé lorsqu'elle prend les caractéristiques de sa carte en tant que Z -représentation pour les transformer avant de les imputer à Paris. Je pense que c'est en partie vrai, mais que cette solution est insuffisante. La clé n'est pas là pour faire correspondre des caractéristiques de la carte-vecteur avec des caractéristiques de la carte en tant que territoire-représentation. Elle est là pour faire correspondre des caractéristiques de la carte en tant que territoire-représentation à des caractéristiques du territoire. Dans des cas locaux comme des cartes de villes, la clé ne modifie pas beaucoup les caractéristiques exemplifiées avant de les imputer. Elle dit, par exemple, « si la carte exemplifie une distance d'*exactement* trente-cinq mètres pour le pont de la Concorde, il faut imputer au pont réel une distance d'*environ* trente-cinq mètres ». L'appel à la notion de clé ne nous est donc pas d'une grande utilité dans le cas de Susan. Dans des cas comme des cartes du monde, c'est différent puisque la projection (de Mercator par exemple) fait s'éloigner fortement certaines caractéristiques de la carte des caractéristiques du territoire réel. Dans ces cas-là, la clé est indispensable pour imputer correctement certaines caractéristiques à la carte²⁷³.

Toujours est-il que, si nous suivons Millson et Risjord, nous devrions dire que la carte de Susan représente Prague comme le territoire de Prague quel que soit l'usage qui en est fait, alors que, comme je viens de le montrer, elle représente Paris comme le territoire de Paris. Ce que Millson et Risjord veulent, en réalité, ce n'est pas une conception qui dit que toute carte de Prague dénote forcément Prague, l'exemple de Susan montre que ce n'est pas le cas. Ce qu'ils

²⁷² Roman FRIGG, James NGUYEN, « DEKI and the Mislocation of Justification », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023, p. 297.

²⁷³ Roman FRIGG, James NGUYEN, « Maps, Models, and Representation », dans Insa LAWLER et al. (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, op. cit.

veulent, c'est plutôt une conception pour laquelle toute carte de Prague est forcément une territoire-de-Prague-représentation, et que l'interpréter comme une territoire-de-Paris-représentation est une erreur, ce que n'est pas en l'état la conception DEKI, puisqu'elle laisse le libre choix de l'interprétation.

De plus, pour Millson et Risjord, une conception de la représentation épistémique ne doit pas traiter l'utilisation de Susan de sa carte comme un cas de représentation du tout²⁷⁴. Quelque chose dans une bonne conception doit empêcher les raisonnements inférentiels injustifiés, ou montrer comment ils émergent d'un mésusage ou d'une mécompréhension de la représentation épistémique. Mieux encore serait que la conception montre en quoi satisfaire ses conditions permet de mener des raisonnements justifiés. S'il est vrai que montrer comment les raisonnements injustifiés menés avec une représentation émergent d'un mésusage ou d'une mécompréhension de cette représentation serait un avantage non négligeable pour une conception de la représentation épistémique, il ne me semble en revanche pas souhaitable d'exiger de cette conception qu'elle traite les mésusages comme des cas de non-représentation. L'utilisation de Susan de la carte de Prague, quoi que ce soit un mésusage, reste un usage. Elle utilise bel et bien sa carte pour représenter Paris. Demander qu'une conception de la représentation épistémique distingue les usages justifiés et non justifiés d'une représentation est raisonnable, mais demander qu'elle relègue au statut de non-représentations les représentations utilisées de façon injustifiée revient à demander qu'elle ne fasse pas la distinction entre les représentations ratées et les non-représentations, et nous avons vu tout au long de ce mémoire que ce serait un défaut pour une conception de la représentation que de ne pas faire cette distinction. Une conception qui considérerait les mésusages de représentation comme celui de Susan comme des cas de non-représentation serait, au moins sur ce point, moins bonne qu'une autre qui les considère comme des cas de représentation ratée.

2.7.3. Le cœur du problème : l'interprétation

Je propose que le cœur du problème ne se trouve en fait pas dans la notion de dénotation, mais dans celle d'interprétation. Dans la conception de Frigg et Nguyen, l'interprétation est ce qui transforme un vecteur en Z-représentation. Un·e utilisateur·rice interprète certaines caractéristiques matérielles de la carte-vecteur (posséder deux petits cercles reliés par une ligne rouge par exemple) comme des caractéristiques d'un territoire (posséder deux villes reliées par

²⁷⁴ Jared MILLSON, Mark RISJORD, « DEKI, Denotation, and the Fortuitous Misuse of Maps », dans Insa LAWLER et al. (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, op. cit., p. 283.

une route), faisant de cette carte une territoire-représentation²⁷⁵. Une première intuition voudrait que Frigg et Nguyen aient établi une notion d'interprétation trop laxiste. Les interprétations peuvent varier d'individu en individu, et un changement d'interprétation équivaut à un changement de Z-représentation. Ceci est trop radical pour les représentations scientifiques, où chaque représentation semble avant tout être *une* Z-représentation et pas une autre. Chaque carte de Prague est une territoire-de-Prague-représentation, chaque machine de Phillips-Newlyn est une économie-représentation, chaque schéma du mouvement d'un oscillateur harmonique est une oscillateur-harmonique-représentation, et nous voudrions qu'une conception de la représentation scientifique intègre cette intuition, qu'elle traite les usages des cartes pensées pour représenter Prague en tant que territoire-de-Paris-représentations comme des erreurs.

Cependant, si rendre l'interprétation moins laxiste, en proposant par exemple qu'une fois fixée pour un vecteur donné par l'auteur ou les élaborateur·rice·s de la représentation, elle ne puisse plus changer, aboutirait en effet à une conception qui explique pourquoi Susan n'est pas justifiée dans ses raisonnements (elle a pris une territoire-de-Prague-représentation pour une territoire-de-Paris-représentation) nous perdrons au passage une vertu importante de la conception DEKI : celle de pouvoir également rendre compte des représentations artistiques. Pour les représentations artistiques, la grande liberté dans le choix de l'interprétation semble être une qualité de la conception, et non un défaut, notamment dans le cas des peintures abstraites, par exemple. Une même peinture peut-être un paysage-apaisant-représentation pour une personne et un visage-déformé-représentation pour une autre, et il est plausible que la multiplicité des interprétations possibles²⁷⁶ soit une qualité des représentations artistiques et non un défaut.

Millson et Risjord soulignent que la manipulation correcte d'une carte dépend de la relation entre les personnes qui ont créé la carte et celles qui l'utilisent, ou, plus précisément, de la relation entre les questions auxquelles la carte est conçue pour répondre par ses créateur·rice·s, et les questions que ses utilisateur·rice·s lui posent²⁷⁷. C'est sans doute vrai pour les cartes, mais comme l'exemple des représentations artistiques le montre, ce n'est sans doute pas vrai de toutes les représentations. Il est même plausible que certaines représentations ne possèdent pas

²⁷⁵ Voir section 2.1 de cette partie pour une définition plus complète de la notion d'interprétation dans la conception DEKI.

²⁷⁶ Au sens restreint d'interprétation utilisé dans la conception DEKI comme au sens plus général.

²⁷⁷ Jared MILLSON, Mark RISJORD, « DEKI, Denotation, and the Fortuitous Misuse of Maps », dans Insa LAWLER et al. (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, op. cit., p. 290–291; Jared MILLSON, Mark RISJORD, « DEKI and the Justification of Surrogate Inference », dans Insa LAWLER et al. (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, op. cit., p. 303.

d'interprétation plus correcte qu'une autre. Si une conception de la représentation ne doit pas forcément soutenir la thèse que la multiplicité des interprétations pour les représentations artistiques est une qualité, elle ne doit pas non plus soutenir la thèse opposée qui dirait que c'est un défaut. *A minima*, une bonne conception de la représentation doit rester neutre à ce sujet, et donc ne pas empêcher les interprétations multiples. La conception DEKI étant une conception de la représentation *épistémique* et non de la représentation *scientifique*, il est attendu qu'elle soit neutre à ce sujet. De plus, même dans le cas restreint de la représentation scientifique, un changement d'interprétation doit rester dans une certaine mesure possible, comme nous l'avons vu avec l'exemple des fuites de la machine de Phillips-Newlyn²⁷⁸. Il ne suffit donc pas de contraindre l'interprétation pour obtenir une conception de la représentation scientifique qui serait satisfaisante.

Nous constatons, avec les critiques de Millson et Risjord, qu'il existe deux exigences qui sont en tension dans l'élaboration d'une conception de la représentation scientifique. D'un côté, il faut que l'interprétation soit libre pour permettre de prendre en compte les changements d'interprétation que les représentations subissent parfois et de prendre en compte les représentations artistiques, de l'autre, il faut que l'interprétation ne soit pas trop libre pour que les cas comme ceux de Susan soient identifiés comme des mésusages. Il semble complexe de satisfaire ces deux exigences en même temps dans une seule conception de la représentation épistémique. Idéalement, il faudrait parvenir à rendre compte du fait que les interprétations doivent conserver une certaine latitude, mais que dans certains cas, comme celui de la carte et de nombreuses représentations scientifiques, certaines interprétations consistent en un mésusage ou une mécompréhension de la représentation.

Ma conclusion est que nous n'avons ici pas affaire à une différence de nature de l'interprétation entre les représentations artistiques et scientifiques, mais seulement de degré. Ce qui constitue une bonne interprétation d'une représentation dépend fortement du contexte et du genre de représentation auquel nous avons affaire, et ne peut pas être intégré de façon générale dans une conception de la représentation comme la conception DEKI. Ceci ne veut évidemment pas dire qu'une exploration de ce qui constitue une bonne ou une mauvaise interprétation d'une carte ou d'un modèle scientifique est inutile ou non souhaitable, mais plutôt que cette exploration ne relève pas du champ d'action d'une théorie de la représentation, car une telle théorie cherche à savoir en vertu de quoi les représentations représentent, et si elle

²⁷⁸ Section 2.1 de cette partie.

peut expliquer en vertu de quoi elles représentent correctement ou non, elle ne doit pas exclure de son champ d'application les représentations incorrectes ou les mésusages.

Je suggère que l'évaluation de ce qui constitue un usage correct ou incorrect d'une représentation dépend du type de représentation en question, et soit donc éminemment contextuel et pragmatique. Susan fait un usage incorrect de sa carte de Prague et n'est pas justifiée dans ses raisonnements, car les cartes constituent un type de représentations pour lequel l'interprétation est relativement contrainte par les personnes qui les créent. Les conclusions obtenues à propos d'un territoire en raisonnant avec une carte sont justifiées dans la mesure où la carte a été correctement conçue, et où elle est utilisée avec la bonne clé pour raisonner à propos du territoire pour laquelle elle a été conçue, mais ce qui constitue une conception correcte et un choix adéquat de clé dépend de facteur extérieur à la carte elle-même en tant que représentation, et il ne doit donc pas être attendu que la conception DEKI en rende compte²⁷⁹.

En outre, il semble que, globalement, les représentations pour lesquelles une interprétation très contrainte est souhaitable viennent équipées de leur interprétation (et de leur clé), d'une manière qui rend les mésusages très improbables, voire impossibles, comme Frigg et Nguyen le soulignent dans leur réponse à Millson et Risjord²⁸⁰. Les cas comme celui de Susan sont extrêmement rares, voire inexistantes, car les cartes indiquent généralement clairement le territoire qu'elles cherchent à représenter, rendant extrêmement improbable le fait de prendre une carte prévue pour être une territoire-de-Prague-représentation pour une territoire-de-Paris-représentation. C'est d'autant plus improbable dans le milieu scientifique qui est tout particulièrement prudent sur les limites de ses outils et a généralement pour habitude de toujours indiquer quelle interprétation et quelle clé utiliser avec quelle représentation scientifique.

En conclusion, s'il est vrai, comme le soulignent Millson et Risjord, qu'appliquer la conception DEKI à une représentation ne permet pas toujours de distinguer les raisonnements justifiés des raisonnements injustifiés menés avec cette représentation, ceci n'est pas un défaut de la conception, mais plutôt une caractéristique nécessaire qui permet d'englober à la fois les représentations artistiques et scientifiques, ces deux catégories se situant aux deux extrémités du spectre que constitue la notion de représentation épistémique. Les critères de distinction entre raisonnement justifié et injustifié viennent du type de Z-représentation, de son contexte de création, d'utilisation, de la communauté qui l'utilise et des normes qui traversent cette dernière. Un vecteur utilisé dans une discipline comme modèle vient avec une interprétation et

²⁷⁹ Roman FRIGG, James NGUYEN, « DEKI and the Mislocation of Justification », dans Insa LAWLER et al. (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, op. cit., p. 298–299.

²⁸⁰ *Ibid.*, p. 299.

une clé qui sont connues et établies par les membres de la discipline en question, et ce même vecteur peut venir équipé d'une autre interprétation et d'une autre clé s'il est utilisé dans une autre discipline. La même oscillateur-harmonique-représentation peut, avec une clé, représenter un pendule, et avec une autre, représenter un ressort. La conception DEKI reste fonctionnelle et continue d'atteindre son objectif : rendre compte des vertus représentationnelles des représentations épistémiques — ce qui ne l'empêche pas de donner un cadre pour en expliquer également certaines vertus épistémiques, avec la notion d'exemplification notamment.

Conclusion

Ce mémoire a commencé avec une double interrogation : comment les scientifiques représentent-ils le monde, et pourquoi choisissent-ils de le représenter de cette manière plutôt que d'une autre ? Comme nous l'avons vu, ces deux questions font l'objet d'une littérature florissante et encore aujourd'hui en pleine expansion en philosophie des sciences, et de nombreuses conceptions différentes se sont succédé pour tenter d'y répondre. Ma thèse, tout au long de ce mémoire, fut qu'une réponse satisfaisante à ces deux questions se devait de tenir compte des idéalizations, des approximations, et plus généralement des écarts volontaires entre les représentations scientifiques et leur cible qui sont monnaies courantes dans la pratique scientifique. Une bonne conception des représentations scientifiques ne doit pas traiter les représentations idéalisées comme des représentations d'une valeur épistémique moindre, et, idéalement, elle doit donner des outils pour comprendre l'intérêt des idéalizations.

La littérature philosophique sur les représentations scientifiques étant jeune et en pleine expansion, j'ai commencé par la situer historiquement : elle est liée à l'intérêt grandissant pour les modèles comme unités théoriques et représentationnelles fondamentales en science, fait qui fut mis en avant et discuté par la conception sémantique des théories. J'ai ensuite présenté un apparent paradoxe relatif à la valeur épistémique des représentations scientifiques qui met en évidence le défi que constitue l'explication de la valeur épistémique des représentations scientifiques pour le cadre traditionnel de pensée en philosophie des sciences.

Ce paradoxe à l'esprit, j'ai passé en revue les différentes conceptions de la représentation scientifique actuellement discutées dans la littérature. À cette occasion, nous avons pu constater que les débats entourant la notion de représentation scientifique se nourrissent de nombreuses théories et discussions issues d'autres domaines de recherche philosophique. Ainsi, les philosophes des sciences ont pu faire appel à la philosophie des mathématiques, à la philosophie de l'art, ainsi qu'à la philosophie de la fiction pour nourrir leurs conceptions de la représentation scientifique.

Ces conceptions cherchent avant tout à établir ce qu'est une représentation scientifique, c'est-à-dire à quelles conditions un objet peut-il être utilisé pour en représenter un autre dans un contexte scientifique. Cependant, cet objectif n'est pas à séparer entièrement de celui d'expliquer les vertus épistémiques des modèles : une bonne conception offre un cadre pour penser cette valeur épistémique plutôt que de la déléguer à des considérations purement pragmatiques.

Ce fut l'erreur de la conception de Callender et Cohen, pour laquelle la question des vertus épistémiques n'a rien à faire dans une conception des représentations scientifiques. Dans une certaine mesure, ce fut également l'erreur de la conception inférentielle et de la conception

DDI, qui se refusent de dire quoi que ce soit sur les représentations scientifiques en général sinon qu'elles permettent de réaliser des inférences, de raisonner à propos de leur cible. D'un autre côté, les conceptions comme la conception structuraliste ou celle par similarité, si elles permettaient mieux de penser la valeur épistémique des représentations scientifiques, en proposaient une conception trop limitée, incapable de rendre compte des multiples façons de représenter utilisées par les scientifiques. La conception fictionnelle, pour sa part, invite à repenser entièrement la relation des représentations à leur cible sous le mode de la description, mais du même coup rend difficile la distinction entre ce qu'une représentation dit de sa cible, et ce qu'il faut réellement imputer à cette cible.

Il nous fallait un moyen de différencier ce qu'une représentation dit de ce qu'il faut imputer à sa cible, tout en rendant compte de la présence d'idéalisations dans la pratique scientifique et sans trop limiter les modes de représentations, au risque de ne savoir rendre compte que d'un nombre limité de représentations scientifiques. J'ai donc tourné mon attention vers la conception DEKI et défendu la thèse que c'est dans les notions de *representation as* et d'exemplification que se trouvent les moyens de satisfaire ces exigences. Les représentations scientifiques fonctionnent sur le mode de la *representation as* : elles dénotent leur cible, exemplifient certaines caractéristiques, les associent à d'autres caractéristiques à l'aide d'une clé, et imputent ces caractéristiques à la cible dénotée.

La conception DEKI est suffisamment générale pour ne pas tomber dans les travers de la conception structuraliste ou de celle par similarité, mais elle ne rejette pas pour autant le projet de proposer un cadre de pensée et de recherche précis comme le fait la conception inférentielle. S'agissant d'une proposition très récente, elle est encore sujette à de nombreuses discussions, modifications, amendements, et améliorations, comme l'a montré ma discussion des critiques que Millson et Risjord lui ont adressées.

Toujours est-il qu'une fois un cadre proposé et accepté, il reste à détailler la manière dont il se concrétise en fonction de la discipline, du contexte, de l'arrière-plan théorique, et des questions de recherche. En ceci, la conception DEKI ouvre des perspectives plus qu'elle n'en ferme. On peut légitimement s'attendre à ce que les représentations des chimistes n'utilisent pas les mêmes clés que celles des sociologues, que celles des géologues n'exemplifient pas les mêmes caractéristiques et de la même manière que celles des psychologues, etc. Explorer la manière dont le DEKI se déploie dans différentes disciplines, à travers des études de cas notamment, est un champ de recherche prometteur, qui de plus, il me semble, montrera l'importance du contexte et des intentions dans la compréhension d'une représentation donnée.

Des recherches devront aussi être menées quant à la relation de la conception DEKI à d'autres débats en philosophie des sciences et en épistémologie. Les débats concernant les représentations scientifiques ne doivent pas être confondus avec ceux sur le réalisme scientifique, la nature des explications scientifiques, la factivité ou la notion de compréhension, et on peut être partisan d'une certaine conception de la représentation tout en restant agnostique vis-à-vis de ces autres questions, mais il faut s'attendre à ce qu'élucider la manière dont les scientifiques représentent le monde fournisse également de quoi réfléchir à ces questions centrales en philosophie des sciences et en épistémologie, comme notre discussion sur la conception DEKI et la justification des raisonnements inférentiels l'a montré. De plus, la conception de Frigg et Nguyen s'appliquant également à de nombreuses représentations artistiques, elle a le potentiel de nourrir certains débats de philosophie de l'art.

La conception DEKI, loin de signer la fin des recherches en épistémologie des représentations scientifiques, marque donc en réalité le début de nombreuses discussions en philosophie des sciences, en épistémologie, et en philosophie en général.

Bibliographie

- BOUMANS, Marcel J., MORGAN, Mary S., « Secrets hidden by two-dimensionality: the economy as a hydraulic machine », dans Soraya DE CHADAREVIAN et Nick HOPWOOD (éds.), *Models: The Third Dimension of Science*, Stanford, Stanford University Press, 2004, pp. 369-401.
- BRANDELET, Antoine, *Le réalisme scientifique à l'épreuve de la fiction* [en ligne], Thèse de doctorat, Université de Namur, Université de Mons, 2023, URL : <https://pure.unamur.be/ws/portalfiles/portal/90116052/theseBrandelet.pdf>.
- BUENO, Otavio, « Epistemology and Philosophy of Science », dans Paul HUMPHREYS (éd.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Science*, Oxford, Oxford University Press, 2016.
- « Models and Scientific Representations », dans Jacob BUSCH et P. D. MAGNUS (éds.), *New Waves in Philosophy of Science*, Basingstoke, Palgrave Macmillan, 2010, pp. 94–111.
- BUENO, Otávio, FRENCH, Steven, « How Theories Represent », *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 62, n° 4, 2011, pp. 857–894.
- CALLENDER, Craig, COHEN, Jonathan, « There Is No Special Problem About Scientific Representation », *THEORIA*, vol. 21, n° 1, 2006, pp. 67–85.
- CARTWRIGHT, Nancy, *The dappled world: a study of the boundaries of science*, Cambridge, Cambridge University Press, 2010.
- *How the laws of physics lie*, Oxford and New York, Clarendon Press ; Oxford University Press, 1983.
- CHANG, Hasok, *Inventing temperature: measurement and scientific progress*, Oxford, Oxford University Press, coll. « Oxford studies in philosophy of science », 2007.
- CONTESSA, Gabriele, « Scientific Representation, Interpretation, and Surrogate Reasoning », *Philosophy of Science*, vol. 74, n° 1, 2007, pp. 48–68.
- DOYLE, Yannick, EGAN, Spencer, GRAHAM, Noah, *et al.*, « Non-factive Understanding: A Statement and Defense », *Journal for General Philosophy of Science*, vol. 50, n° 3, 2019, pp. 345–365.
- DUTANT, Julien, ENGEL, Pascal (éds.), *Philosophie de la connaissance : Croyance, connaissance, justification*, Paris, Vrin, 2005.
- ELGIN, Catherine Z., « Selective Disregard » [en ligne], dans Chiara AMBROSIO et Julia SANCHEZ-DORADO (éds.), *Abstraction in Art and Science*, London, Routledge, 2024, URL : http://catherineelgin.com/exemplification/selective_disregard.pdf.

- « Models as Felicitous Falsehoods », *Principia: an international journal of epistemology*, vol. 26, n° 1, 2022, pp. 7-23.
- *True enough*, Cambridge (Mass.), the MIT press, 2017.
- « Making Manifest: The Role of Exemplification in the Sciences and the Arts », *Principia: an international journal of epistemology*, vol. 15, n° 3, 2012, pp. 399-413.
- « Telling Instances », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, vol. 262, Dordrecht, Springer Netherlands, coll. « Boston Studies in the Philosophy of Science », 2010.
- « Exemplification, Idealization, and Scientific Understanding », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science: philosophical essays on modeling and idealization*, New York, Routledge, coll. « Routledge studies in the philosophy of science » 4, 2009, pp. 77-90.
- *Considered judgement*, Princeton, Princeton University Press, 1996.
- *With reference to reference*, Indianapolis, Hackett, 1983.
- FRIEND, Stacie, « Fictional characters », *Philosophy Compass*, vol. 2, n° 2, 2007, pp. 141–156.
- FRIGG, Roman, « Models and fiction », *Synthese*, vol. 172, n° 2, 2010, pp. 251–268.
- « Models and Representation: Why Structures Are Not Enough », *Measurement in Physics and Economics Project Discussion Paper Series*, 2002.
- FRIGG, Roman, HARTMANN, Stephan, article « Models in Science » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, Spring 2020, Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2020, URL: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/models-science/>.
- FRIGG, Roman, NGUYEN, James, « Maps, Models, and Representation », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023.
- « DEKI and the Mislocation of Justification », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023.
- article « Scientific Representation » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, Winter 2021, Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2021, URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/scientific-representation/>.
- « Seven Myths About the Fiction View of Models », dans Alejandro CASSINI et Juan REDMOND (éds.), *Models and Idealizations in Science: Artifactual and Fictional Approaches*, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2021.

- *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*, vol. 427, Cham, Springer International Publishing, coll. « Synthese Library », 2020.
- « Models and Representation », dans Lorenzo MAGNANI et Tommaso BERTOLOTTI (éds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Cham, Springer International Publishing, coll. « Springer Handbooks », 2017.
- GELFERT, Axel, « The Ontology of Models », dans Lorenzo MAGNANI et Tommaso BERTOLOTTI (éds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Cham, Springer International Publishing, coll. « Springer Handbooks », 2017.
- GETTIER, Edmund L., « Is Justified True Belief Knowledge? », *Analysis*, vol. 23, n° 6, 1963, pp. 121-123.
- GIERE, Ronald N., « An agent-based conception of models and scientific representation », *Synthese*, vol. 172, n° 2, 2010, pp. 269-281.
- « Why Scientific Models Should Not Be Regarded as Works of Fiction », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science: philosophical essays on modeling and idealization*, New York, Routledge, coll. « Routledge studies in the philosophy of science » 4, 2009.
- *Scientific perspectivism*, Chicago, University of Chicago Press, 2006.
- « How Models Are Used to Represent Reality », *Philosophy of Science*, vol. 71, n° 5, 2004, pp. 742-752.
- *Explaining science: a cognitive approach*, Chicago, University of Chicago press, coll. « Science and its conceptual foundations », 1988.
- GODFREY-SMITH, Peter, « The strategy of model-based science », *Biology & Philosophy*, vol. 21, n° 5, 2007, pp. 725-740.
- GOLDMAN, Alvin I., *Knowledge in a social world*, Oxford, Clarendon Press, 1999.
- GOODMAN, Nelson, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, Indianapolis, 2^e éd., Hackett Publishing Company, Inc., 1981.
- *Problems and projects*, Indianapolis, The Bobbs-Merrill Company, Inc., 1972.
- GRICE, Paul, *Studies in the way of words*, Cambridge, Harvard University Press, 1989.
- GURLYAND, Ilya Iakovlevitch, « Reminiscences of A. P. Tchekhov », *Teamp u uskyccmbo (Théâtre et art)*, n° 28, 1904.
- HACKING, Ian, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.
- HARTE, John, *Consider a spherical cow: a course in environmental problem solving*, Sausalito, University Science Books, 1988.

- HOSCH, Quentin, *Phénoménologie de la représentation : La représentation mentale comme fondement de l'expérience consciente chez Brentano et Husserl*, Mémoire de master, Université de Liège, Liège, 2024.
- HUGHES, R. I. G., « Models and Representation », dans *The theoretical practices of physics: philosophical essays*, Oxford, Oxford University Press, 2010.
- KITCHER, Philip, *Science, Truth, and Democracy*, Oxford, Oxford University Press, 2001.
- KROON, Fred, VOLTOLINI, Alberto, article « Fictional entities » [en ligne], dans Edward N. ZALTA (éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford, Fall 2023, Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2023, URL: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2023/entries/fictional-entities/>.
- KUHN, Thomas Samuel, *The structure of scientific revolutions*, Chicago, 4th ed, University of Chicago press, 2012.
- LAUDAN, Larry, « A Confutation of Convergent Realism », *Philosophy of Science*, vol. 48, 1981, pp. 19–48.
- LEVY, Arnon, « Modeling without models », *Philosophical Studies*, vol. 172, n° 3, 2015, pp. 781–798.
- « Models, Fictions, and Realism: Two Packages », *Philosophy of Science*, vol. 79, n° 5, 2012, pp. 738-748.
- LOCKE, John, *Essai philosophique concernant l'entendement humain*, Amsterdam, 3^e éd., Pierre Mortier, 1735, trad. de COSTE, Pierre.
- MAGNANI, Lorenzo, « Scientific Models Are Not Fictions: Model-Based Science as Epistemic Warfare », dans Lorenzo MAGNANI et Li PING (éds.), *Philosophy and Cognitive Science: Western and Eastern Studies*, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2012, pp. 1-38.
- MARIAN, David, « Truth as the Epistemic Goal », dans Matthias STEUP (éd.), *Knowledge, truth, and duty: essays on epistemic justification, responsibility, and virtue*, Oxford, Oxford University Press, 2001.
- MILLSON, Jared, RISJORD, Mark, « DEKI, Denotation, and the Fortuitous Misuse of Maps », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023.
- « DEKI and the Justification of Surrogative Inference », dans Insa LAWLER, Kareem KHALIFA et Elay SHECH (éds.), *Scientific Understanding and Representation: Modeling in the Physical Sciences*, New York and London, Routledge, 2023.

- MORGAN, Mary S., MORRISON, Margareth (éds.), *Models as mediators: perspectives on natural and social science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.
- NIINILUOTO, Ilkka, « Analogy and Similarity in Scientific Reasoning », dans David H. HELMAN (éd.), *Analogical Reasoning*, Dordrecht, Springer Netherlands, 1988, pp. 271-298.
- PARKER, Wendy S., « Getting (even more) serious about similarity », *Biology & Philosophy*, vol. 30, n° 2, 2015, pp. 267–276.
- PERO, Francesca, SUAREZ, Mauricio, « Varieties of misrepresentation and homomorphism », *European Journal for Philosophy of Science*, vol. 6, n° 1, 2016, pp. 71–90.
- PORTIDES, Demetris, « Models and Theories », dans Lorenzo MAGNANI et Tommaso BERTOLOTI (éds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Cham, Springer International Publishing, coll. « Springer Handbooks », 2017.
- PUTNAM, Hilary, *Reason, truth, and history*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981.
- RESNIK, Michael D., *Mathematics as a Science of Patterns*, Oxford, Oxford University Press, 1997.
- SALIS, Fiora, « The New Fiction View of Models », *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 72, n° 3, 2021, pp. 717-742.
- « Fictional Entities », dans João BRANQUINHO et Ricardo SANTOS (éds.), *Online Companion to Problems in Analytic Philosophy*, Lisbon, Centre of Philosophy, University of Lisbon, 2013.
- SCHRÖDINGER, Erwin, « Science et humanisme », dans *Physique quantique et représentation du monde*, Paris, Éditions du Seuil, 1992, trad. de LADRIERE, Jean.
- SHAPIRO, Stewart, *Thinking about mathematics: the philosophy of mathematics*, Oxford, Oxford University Press, 2000.
- SHECH, Elay, « Scientific misrepresentation and guides to ontology: the need for representational code and contents », *Synthese*, vol. 192, n° 11, 2015, pp. 3463-3485.
- SUAREZ, Mauricio, « Deflationary representation, inference, and practice », *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 49, 2015, pp. 36–47.
- « Scientific Representation », *Philosophy Compass*, vol. 5, n° 1, 2010, pp. 91-101.
- « Scientific Fictions as Rules of Inference », dans Mauricio SUAREZ (éd.), *Fictions in science: philosophical essays on modeling and idealization*, New York, Routledge, coll. « Routledge studies in the philosophy of science » 4, 2009, pp. 157-178.
- « An Inferential Conception of Scientific Representation », *Philosophy of Science*, vol. 71, n° 5, 2004, pp. 767-779.

- « Scientific representation: against similarity and isomorphism », *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 17, n° 3, 2003, pp. 225-244.
- SUPPE, Frederick (éd.), *The Structure of scientific theories*, Urbana and Chicago, 2^e éd., University of Illinois Press, 1977.
- SUPPES, Patrick, *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, Dordrecht, Springer Netherlands, 1969.
- THOMSON-JONES, Martin, « Structuralism About Scientific Representation », dans Alisa BOKULICH et Peter BOKULICH (éds.), *Scientific Structuralism*, Dordrecht, Springer Netherlands, coll. « Boston Studies in the Philosophy and History of Science », 2011.
- « Missing systems and the face value practice », *Synthese*, vol. 172, n° 2, 2010, pp. 283-299.
- TOON, Adam, *Models as Make-Believe: Imagination, Fiction and Scientific Representation*, London, Palgrave Macmillan, 2012.
- « Models as Make-Believe », dans Roman FRIGG et Matthew HUNTER (éds.), *Beyond Mimesis and Convention*, vol. 262, Dordrecht, Springer Netherlands, coll. « Boston Studies in the Philosophy of Science », 2010.
- VAIHINGER, Hans, *The Philosophy of 'as If': A System of the Theoretical, Practical, and Religious Fictions of Mankind*, London, Kegan Paul, 1924.
- VAN FRAASSEN, Bas C., *Scientific representation: paradoxes of perspective*, Oxford and New York, Clarendon Press ; Oxford University Press, 2008.
- « Interpretation of science; science as interpretation », dans Jan HILGEVOORD (éd.), *Physics and our view of the world*, Cambridge, 1994.
- WALTON, Kendall L., *Mimesis as make-believe: on the foundations of the representational arts*, Harvard, Harvard University Press, 1990.
- WEISBERG, Michael, *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*, Oxford, Oxford University Press, 2013.
- « Who is a Modeler? », *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 58, n° 2, 2007, pp. 207-233.
- YABLO, Stephen, *Aboutness*, Princeton and Oxford, Princeton University Press, coll. « Carl G. Hempel lecture series », 2014.