



REVUE
DE LA SOCIÉTÉ
DE PHILOSOPHIE
DES SCIENCES

Vol 10 N°1 2023

<https://doi.org/10.20416/LSRSPS.V10I1.3>

Quentin Ruyant

LES VALEURS DANS LA REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE



SOCIÉTÉ DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES (SPS)
École normale supérieure
45, rue d'Ulm
75005 Paris
www.sps-philoscience.org



Quentin Ruyant

LES VALEURS DANS LA REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE

Sommaire



- 1 – Introduction : valeurs et représentation scientifique
- 2 – La représentation concrète et les buts locaux
- 3 – La représentation abstraite et les valeurs
- 4 – Quel rôle pour les valeurs en science ?
- 5 – Conclusion: faits et valeurs, locaux et globaux

L'idéal de neutralité axiologique ("value-free ideal") consiste à affirmer que les valeurs sociales ne devraient pas intervenir dans le fonctionnement interne de la science, en particulier dans la justification des hypothèses. Cet idéal semble être en tension avec l'idée, aujourd'hui assez consensuelle, que les utilisateurs d'une représentation et leurs buts jouent un rôle important dans l'établissement de la relation entre vecteur de représentation et objet représenté. Dans cet article, je propose un examen approfondi du rôle que jouent buts et valeurs dans la représentation scientifique, en me basant sur une distinction entre représentation concrète et abstraite. Un modèle hiérarchique est proposé pour rendre compte des activités de modélisation à différents niveaux d'abstraction. Enfin, ce modèle hiérarchique est confronté aux principaux arguments du débats sur l'idéal de neutralité axiologique. Ma conclusion est que l'abstraction permet un certain affranchissement vis-à-vis des valeurs et buts locaux, mais au prix d'une déconnexion vis-à-vis des faits locaux.

According to the value-free ideal, social values should not interfere in the internal functioning of science, and in particular in the justification of hypotheses. There is a tension between this ideal and the idea, that has become consensual, that the users of a representation and their goals play a role in establishing the relation between vehicle and represented object. The purpose of this article is to examine in detail the role played by goals and values in scientific representation. My analyses are based on a distinction between concrete and abstract representation. I propose a hierarchical model in order to account for modeling activities at various levels of abstraction. Finally, this hierarchical model is confronted with the main arguments in the debate on the value-free ideal. My conclusion is the following: abstraction allows for a certain emancipation from local values and goals, but the price to pay is a disconnection from local facts.

Mots clés : idéal de neutralité axiologique, représentation scientifique, valeurs en science, empirisme.
Keywords: Value-free ideal, scientific representation, values in science, empiricism.

1. Introduction : valeurs et représentation scientifique

Une façon traditionnelle de concevoir la science est de considérer que l'activité scientifique est dirigée vers un but unique : la connaissance ou la compréhension du monde. Cette conception s'accompagne souvent d'une certaine notion d'objectivité, associée à l'idée que les scientifiques devraient s'abstraire au mieux de jugements de valeurs ancrés dans un contexte socio-culturel particulier au moment d'évaluer les représentations du monde qu'ils produisent. Un scientifique peut attribuer une valeur *cognitive* (ou épistémique) à une hypothèse, un modèle ou une théorie si elle possède des caractéristiques qui contribuent à la réalisation de ce but universel qu'est la connaissance, mais le rôle du scientifique ne serait pas de leur attribuer des valeurs *contextuelles* (morales, politiques, sociales) relatives à des buts plus locaux au moment de les accepter ou de les rejeter. Typiquement, les idéologies politiques ou les intérêts commerciaux ne devraient pas interférer dans le jugement des scientifiques. C'est ce qu'il est coutume d'appeler *l'idéal de neutralité axiologique* ("value-free ideal" en anglais). Cet idéal a été attaqué récemment sur différents fronts, soit parce qu'il serait pratiquement inatteignable, soit parce que la neutralité axiologique ne serait pas

vraiment désirable en contexte d'incertitude (Longino 1996; Kincaid, Dupré, et Wylie 2007; Douglas 2009).

Pour des raisons indépendantes de ces débats, il est devenu aujourd'hui assez consensuel de considérer que la relation établie entre un vecteur de représentation et son objet, par exemple, en science, la relation entre un modèle et le système qu'il représente, dépend en partie des utilisateurs de la représentation et de leurs buts (Suárez 2004; Giere 2004; Van Fraassen 2008). À première vue, ce simple constat menace cette notion d'objectivité scientifique comme neutralité vis-à-vis des valeurs sociales. En effet, si la construction et l'utilisation de modèles en science dépend de buts particuliers, par exemple évaluer la valeur écologique des zones humides en vue de leur préservation, en quoi les modèles scientifiques seraient-ils des représentations objectives de la réalité ? (voir par exemple Elliott et McKaughan 2014) Cependant cette conclusion demande, avant d'être acceptée, un examen plus approfondi de la manière dont les buts des agents interviennent dans la représentation épistémique en général, et scientifique en particulier.

L'objet de cet article est de proposer une analyse détaillée du rôle que jouent buts et valeurs dans différentes activités de représentation. Les valeurs seront comprises ici comme

les caractéristiques des représentations qui contribuent à la réalisation d'un but donné (local, comme la préservation de l'environnement, ou général, comme la connaissance du monde). L'analyse de leur rôle dans la représentation sera basée sur une distinction, issue de mes travaux précédents, entre représentation concrète (ou située) et abstraite, la première étant orientée vers des objets particuliers du monde et la seconde jouant un rôle normatif vis-à-vis de la première (Ruyant 2021 ch. 3).

La première partie de l'article est consacrée à une analyse des rôles respectifs de la téléologie, de l'empirie et des normes communautaires dans la représentation concrète, en particulier la construction de modèles de données et l'utilisation de modèles théoriques à des fins prédictives. La seconde partie propose d'étendre ces analyses à la représentation abstraite, comprise comme développement de normes pour des activités de représentations concrètes potentielles. Un modèle hiérarchique incluant contextes d'application, contextes de recherche et contextes disciplinaires y est ébauché afin de rendre compte des relations entre différents niveaux d'abstraction dans la représentation. Enfin, la troisième partie examine les implications de ce modèle hiérarchique pour le débat sur la neutralité axiologique. Ma conclusion est que l'abstraction, associée aux niveaux les plus élevés de la hiérarchie, permet en effet d'aboutir à une certaine neutralité vis-à-vis de valeurs locales, mais au prix d'une déconnexion de la représentation vis-à-vis de faits locaux.

2. La représentation concrète et les buts locaux

La représentation concrète est caractérisée comme étant dirigée vers un objet particulier, situé dans l'espace-temps, auquel l'utilisateur fait référence depuis sa position. Il peut s'agir de faire directement référence à un objet d'intérêt par ostentation, ou indirectement si l'utilisateur accède à l'objet par la médiation d'instruments.

Au niveau concret, on peut distinguer deux types d'activités représentationnelles. Le premier type d'activité consiste à construire une représentation sur la base d'observations, typiquement, en science, un *modèle de données*. L'objectif de cette activité pourra être de comparer ce modèle aux prédictions d'un modèle théorique pour confirmer ce dernier, ou simplement de documenter les caractéristiques d'un type de phénomène intéressant. Le second type d'activité concrète consiste à appliquer une représentation théorique à l'objet qui nous intéresse pour faire des inférences, par exemple, des prédictions météorologiques à partir d'une modélisation de l'atmosphère terrestre. Si l'on considère les représentations épistémiques au sens large, desquelles les représentations

scientifiques constituent un sous-ensemble, on peut ranger dans ce second type d'activité l'utilisation d'une carte pour se déplacer dans une ville (les inférences portent sur le chemin à suivre pour se rendre à un certain point). Ce cas familier nous servira d'illustration dans cette partie.

Ces deux types d'activités fonctionnent en quelque sorte en miroir l'une de l'autre : dans un cas, il s'agit d'interagir avec un objet pour renseigner le contenu d'une représentation, et dans l'autre il s'agit d'interagir avec le vecteur de représentation pour effectuer des inférences à propos de l'objet représenté. Dans les deux cas, l'activité de représentation demande au préalable d'établir une coordination entre un vecteur de représentation (tableau, diagramme, équations, etc.) et l'objet représenté en associant symboles et référents.

Il existe en principe trois sources potentielles de contraintes que l'agent doit prendre en compte pour mener à bien son activité :

- Les données téléologiques du contexte (son but)
- Les données empiriques du contexte (ses observations)
- Les normes de représentation de sa communauté épistémique

La question qui nous intéresse est : quelle est la fonction respective de ces trois éléments ? Ceux-ci peuvent intervenir à trois niveaux : lors de la sélection d'un vecteur de représentation, lors de sa coordination avec l'objet représenté et lors de la construction ou l'utilisation de ce vecteur. Examinons ces étapes une à une.

2.1 La sélection et la coordination de la représentation

En amont de la construction ou de l'utilisation d'une représentation concrète, il faut établir un cadre au sein duquel l'activité prendra place. Ceci passe par la prise en compte de données à la fois empiriques et téléologiques (conformes soit au monde, soit aux buts de l'agent) issues de ce que nous appellerons un *contexte d'application*, mais aussi par la sélection d'une représentation appropriée et l'application de *règles d'interprétation* associées à cette représentation, suivant les normes issues d'un contexte plus large, celui de la communauté épistémique à laquelle appartient l'agent (j'emprunte le terme "règles d'interprétation" à Hughes (1997)).

Prenons comme illustration l'utilisation d'une carte. Les données téléologiques pourront être : "Mon objectif général est de m'orienter dans le métro de Madrid", et les données empiriques : "Ceci est la station Sol". Les premières servent typiquement à déterminer des objets et propriétés d'intérêt et une certaine finesse de grain dans la représentation, ce qui suggérera l'usage d'un vecteur de représentation en particulier. Vouloir se déplacer dans le métro implique de considérer

les différentes stations et les lignes qui les relient, mais pas forcément la distance géographique entre ces stations. Ceci suggère l'utilisation d'une carte dont la finesse de grain est appropriée, en l'occurrence une carte du métro. De même en science, chercher à prédire la hauteur des marées en un lieu donné suggérera l'usage d'un modèle océanographique approprié, validé pour cet usage par la communauté scientifique. Le modèle sélectionné peut dépendre de la précision attendue pour les prédictions.

À noter que certaines données empiriques peuvent également être convoquées pour sélectionner le bon modèle, par exemple en fixant la valeur d'un paramètre théorique à partir d'une mesure préalable, et il arrive souvent, dans un contexte d'incertitude, qu'une pondération probabiliste de modèles possibles soient utilisés plutôt qu'un unique modèle (c'est le cas des prédictions climatiques du GIEC par exemple). Il n'est donc pas forcément possible de reléguer la sélection de modèles à la téléologie.

Si le but n'est pas de faire des prédictions, mais de construire une représentation fidèle de l'objet pour les propriétés qui nous intéressent, par exemple un modèle de données, les données téléologiques suggéreront un squelette ou une forme appropriée pour la représentation, par exemple des axes pour représenter ce que l'on va mesurer et les paramètres que l'on va faire varier. Cette forme que prendra le modèle de données peut également être suggérée par un modèle théorique dont on souhaite vérifier l'adéquation empirique : le modèle de donnée empruntera alors la même forme que les prédictions du modèle théorique (par exemple une équation linéaire).

Dans tous les cas, l'activité demande ensuite de coordonner l'objet représenté et le vecteur de représentation (ou son squelette) en adoptant des normes d'interprétation : une légende pour une carte ou une interprétation standard du vocabulaire théorique pour un modèle scientifique. Le but de la coordination est d'établir une association entre symboles et référents. Ici certaines données empiriques du contexte ("Ceci est la station Sol", ou "Ceci est un thermomètre") peuvent intervenir. En science, cette étape de coordination entre représentation et réalité est loin d'être une affaire triviale. Elle demande un certain savoir-faire issu d'une tradition expérimentale, des techniques de calibration d'instruments par exemple, et elle peut nécessiter l'usage de modèles auxiliaires, les modèles d'expérience. Elle suit certaines normes issues d'un contexte plus large. Certains aspects téléologiques, par exemple des attentes quant à la précision des mesures, peuvent être impliqués.

À ce stade, il n'apparaît donc pas de distinction nette entre les rôles respectifs des données empiriques et téléologiques, puisque les deux peuvent être mises à contribution indifféremment pour sélectionner le vecteur de représentation approprié et l'orienter par rapport à son objet, tenant compte

de normes. Il s'agit, en somme, d'ajuster les observations, les buts et la représentation, et les directions d'ajustement entre ces trois types d'éléments peuvent être diverses.

Les données empiriques et téléologiques impliquées dans le choix du modèle, de sa forme ou dans sa coordination avec le contexte peuvent être qualifiées de *rigides* : elles feront partie du cadre de l'agent, et resteront vraies dans tous les "mondes possibles" qu'il ou elle pourra considérer au moment de faire des inférences ou de renseigner le contenu de sa représentation. Ce que cela signifie, concrètement parlant, est que remettre en question ces données, par exemple considérer la possibilité "et si ce n'était pas la station Sol ?", ou encore "et si je ne souhaitais pas prendre le métro, mais plutôt avoir des recommandations de restaurants ?", ne relève plus d'une utilisation normale de la représentation coordonnée, mais revient à questionner sa pertinence (à noter, cependant, qu'il peut y avoir plusieurs itérations entre sélection, coordination et utilisation : par exemple, un échec des prédictions appelant à revoir la coordination du modèle ou sa pertinence).

2.2 L'utilisation ou la construction de la représentation

Passons maintenant au niveau de l'utilisation ou de la construction de la représentation à proprement parler. À ce niveau, on peut caractériser l'activité de l'utilisateur et le rôle du vecteur de représentation ou de l'objet représenté en termes de restrictions apportées à un espace de possibilités a priori.

Le contexte expérimental permet en effet de spécifier un ensemble large de possibilités a priori (des combinaisons arbitraires de valeurs pour les propriétés d'intérêt, suivant une certaine finesse de grain, dans la limite de ce que le vecteur peut représenter : typiquement en physique un espace des états ou une partition d'un tel espace). Cependant, la constitution de l'objet qui nous intéresse et les circonstances dans lesquelles il se trouve impliquent que seules certaines de ces possibilités a priori sont "réellement" possibles. Ainsi, on peut imaginer des trajets arbitraires entre stations de métro, mais la structure du réseau implique que seuls certains trajets sont possibles (ceux qui correspondent à des lignes de métro).

Quand il s'agit d'utiliser un modèle théorique pour faire des prédictions, l'utilisateur postulera généralement que le modèle est fiable, et donc que la structure du modèle reproduit plus ou moins exactement les contraintes sur les possibles apportées par la constitution de l'objet représenté. En ce sens, le modèle est informatif.

La structure du vecteur de représentation contraint les inférences de l'utilisateur. Elle peut être portée uniquement par des symboles et des règles de manipulation (par exemple,

des équations mathématiques et des règles de déduction), en quel cas cette structure est abstraite, mais il peut aussi s'agir de contraintes physiquement instanciée, déterminée par des processus causaux (verser de l'eau dans le modèle d'échelle de la baie de San Francisco). Un cas qu'on pourrait qualifier d'hybride est la modélisation informatique : une structure symbolique et des règles de manipulation abstraites sont implémentées dans un programme qui est exécuté par les processus causaux concrets d'un ordinateur (voir Barberousse, Franceschelli, et Imbert (2009) pour une analyse de la différence entre simulation physique et numérique).

L'utilisateur utilisera de nouvelles données empiriques ou téléologiques contextuelles pour faire des inférences. Pour filer l'exemple intuitif de l'utilisation d'une carte, ce sont des données du type "Je me situe au point A" et "Je souhaite me rendre au point B". Il s'agit en fait de contraindre ou d'ordonner encore l'espace de possibilité offert par le contexte en ne considérant que les possibilités *factuelles* ou *pertinentes* (ou compatible avec ce que l'on sait et ce que l'on souhaite), ou bien en ordonnant ces possibilités suivant une mesure : ce qui est plus ou moins probable étant donné ce que l'on sait, ou ce qui est plus ou moins souhaitable (les stations de départ les plus proches de nous, les trajets avec le moins de changement, etc.). En physique, il pourra s'agir de spécifier l'état initial d'un système ou une pondération probabiliste de cet état par exemple. À partir de ces entrées, les règles de manipulation et la structure du vecteur de représentation permettent d'aboutir à des conclusions qui, une fois interprétées en termes de l'objet, pourront jouer le rôle de prescripteur pour l'action ("Pour me rendre au point B, je dois emprunter la ligne 4").

Quand il s'agit de construire un modèle de données ou une représentation factuelle de l'objet, le schéma est sensiblement identique : l'expérimentateur prendra comme point de départ une certaine action (fixer la valeur d'un paramètre en manipulant adéquatement l'objet de l'expérience, placer un appareil de mesure d'une certaine façon) pour aboutir à un résultat, mais cette fois, c'est l'objet lui-même qui contraint le résultat, et ce résultat est reporté dans la représentation pour enrichir son contenu en utilisant certaines *règles de construction*, par exemple des outils d'analyse statistique, et en s'appuyant éventuellement sur des processus physiques associés aux instruments de mesure.

À l'inverse du cas des prédictions, l'expérimentateur qui veut construire un modèle de donnée ne s'intéresse pas à une entrée en particulier pour les inférences (une valeur particulière pour un paramètre). Il voudra généralement explorer une plage large d'entrées possibles de manière exhaustive, dans les limites permises par le contexte expérimental. S'il s'agit par exemple de construire une représentation de la conductivité électrique d'un matériau en fonction de sa température, l'expérimentateur ne se contentera pas d'une mesure : il ou

elle fera varier la température sur une plage de valeur suffisamment large, et mesurera chaque fois la conductivité.

On observe donc ici une dissymétrie entre l'utilisation d'un modèle théorique à des fins de prédiction et la construction d'un modèle de donnée. Dans le premier cas, les données téléologiques et empiriques du contexte jouent une fonction similaire : elles permettent de sélectionner certaines possibilités pertinentes comme point de départ pour les inférences. Le modèle théorique encapsule en quelque sorte des normes inférentielles qui permettent d'aboutir à des conclusions (Suárez 2004). Dans le second cas, les données téléologiques ne jouent plus de rôle prépondérant. Il n'est plus question de sélectionner une possibilité pertinente en particulier, mais d'explorer toute la plage des possibilités offerte par le contexte. De plus, les valeurs des paramètres (comme la température dans l'exemple précédent) doivent être fixées physiquement par une interaction avec l'objet : elles ne sont plus seulement imaginées dans le but de faire des inférences, mais réellement instanciées, ce que pourra confirmer une observation postérieure à l'action. Ces données relèvent désormais du domaine empirique. Ce sont donc des données exclusivement empiriques qui permettent de renseigner le contenu de la représentation lors de la construction d'un modèle de données, et un certain affranchissement de la téléologie est obtenu par un processus de généralisation (considérer toutes les valeurs possibles pour un paramètre).

2.3 La distinction entre téléologie et empirie

En résumé :

- Lors de l'utilisation d'un modèle théorique pour faire des prédictions, les données empiriques et téléologiques ont potentiellement la même fonction, que ce soit au moment du choix du modèle, de sa coordination ou de son utilisation pour faire des inférences.
- Lors de la construction d'un modèle de donnée,
 - les données empiriques et téléologiques ont potentiellement la même fonction au moment du choix de la forme du modèle et de sa coordination ;
 - seules des données empiriques renseignent le contenu du modèle.
- Des normes de représentation associées à la coordination, à l'utilisation ou à la construction de modèles interviennent toutefois à tous les niveaux.

Les représentations concrètes ont une valeur contextuelle qui tient à leur adéquation aux données téléologique : elles représentent les objets qui nous intéressent dans un format et avec une finesse de grain adéquats à la réalisation de nos buts. Mais on peut aussi leur attribuer une valeur moins contextuelle et plus objective : la fiabilité ou l'adéquation empirique.

Bien que ces valeurs participent à la réalisation de nos buts locaux, elles peuvent être caractérisées indépendamment de ces buts, par exemple en termes de correspondance entre le contenu de la représentation et les observations (possibles ou actuelles) faites sur l'objet représenté, ou en termes de capacité à nous faire aboutir à des conclusions justes. Ce type de caractéristique générale semble désirable quel que soit le contexte.

La différence entre les modèles de données et les modèles prédictifs pourrait être que dans le premier cas, l'adéquation empirique est obtenue par simple construction, tandis que dans le second cas, la fiabilité supposée est héritée du modèle théorique qui est utilisé. En effet, s'il est naturel de penser que la prédiction de la date d'une éclipse à partir d'un modèle astronomique est objective, c'est essentiellement parce que l'on pense que le modèle théorique qui est utilisé est fiable. Mais même dans le cas de la construction d'un modèle de donnée, le contenu de la représentation concrète n'est pas entièrement autonome vis-à-vis de représentations moins situées. Ainsi, les règles d'interprétation pour le vocabulaire théorique ou les règles de construction peuvent être associées à une compréhension générale des instruments de mesure fondée sur une théorie. Cette dépendance est seulement plus évidente dans le cas des prédictions, puisqu'un modèle théorique est directement utilisé. Or ces règles et modèles théoriques ne sont pas spécifiques au contexte dans lequel ils sont utilisés : il s'agit de règles et de modèles abstraits, validés par la communauté scientifique et applicables dans un ensemble varié de contextes. Leur valeur n'est pas limitée à une utilisation en particulier.

Il est donc temps de s'intéresser aux niveaux plus abstraits de la représentation scientifique.

3. La représentation abstraite et les valeurs

Le débat sur la représentation scientifique s'intéressait initialement assez peu aux aspects pragmatiques liés à l'utilisation des modèles, cherchant plutôt à penser la représentation comme relation plus ou moins formelle entre représentation et objet représenté, par exemple en termes de ressemblance ou d'isomorphisme (Giere 1988; Van Fraassen 1980). Les critiques de ces approches ont amené, depuis maintenant plusieurs décennies, à prendre plus au sérieux les utilisateurs et leurs buts particulier. La section précédente est largement basée sur la littérature issue de ce mouvement. Cependant, il faut reconnaître que tenter de réduire entièrement la représentation épistémique aux états mentaux (buts et connaissances) des utilisateurs, comme le proposent certaines approches déflationnistes (Callender et Cohen 2006), est autant

une impasse que de les exclure entièrement (voir à ce sujet les critiques de Liu (2015) et de Boesch (2017)). En effet, le fait pour un modèle de représenter un objet ne découle pas d'un décret arbitraire de l'utilisateur. Une carte de Madrid ne représente pas Lisbonne, et si quelqu'un décide de l'utiliser pour se déplacer dans Lisbonne, il se trompe.

Ce qui fait qu'un modèle ou une représentation abstraite représente un objet plutôt qu'un autre, en dehors de toute utilisation particulières, peut être analysé en termes de normes : une carte représente Madrid s'il est approprié, ou normal, de l'utiliser pour se déplacer dans Madrid (et ce même si la carte n'est de fait jamais utilisée). Ou encore, une structure mathématique représente l'atome d'hydrogène s'il est normal de l'utiliser pour faire des prédictions concernant de l'hydrogène. Autrement dit, la représentation suit certaines normes d'utilisation qui existent indépendamment des utilisateurs et de leurs choix. Nous avons vu dans la section précédente le rôle que peuvent jouer ces normes : choix de modèle approprié, mais aussi règles d'interprétation, règles de manipulation et règles de construction standards.

Ces normes peuvent se comprendre au moins en partie suivant le modèle de l'indexicalité en philosophie du langage. Un énoncé indexical comme "je suis ici" voit ses référents fixés par le contexte suivant certaines règles ("je" désigne le locuteur, "ici" le lieu de la locution, etc.). De même, les symboles d'une carte ou d'un modèle scientifique voient leurs référents fixés suivant des règles d'interprétation. C'est le cas notamment, en physique, des systèmes de coordonnées et des espaces d'état : "O" désigne le centre de masse du système considéré, "x" sa position suivant un axe, etc. Ainsi, on peut concevoir, au moins dans l'idéal, une représentation abstraite (par exemple un modèle théorique) comme fonction de contexte d'utilisation à représentation coordonnée (ce serait l'analogie du *caractère*, fonction de contexte à contenu, employé en philosophie du langage pour analyser les indexicaux).

Suivant cette approche, l'activité principale du théoricien est de développer des normes indexicales de représentation. Le biologiste nous dit comment bien représenter les systèmes vivants quels qu'ils soient ; le chimiste nous dit comment bien représenter les réactions entre matériaux divers ; etc. Bien sûr, ces normes ne sont pas arbitraire. Elles sont développées avec certaines *valeurs* en vue concernant ce qui constitue une *bonne* représentation. Et c'est justement ce qui nous intéresse ici : comprendre le rôle et le type des valeurs qui entrent en jeu au moment d'établir les normes de représentation que sont les modèles théoriques.

3.1 Analogie entre représentation abstraite et concrète

Ma manière de procéder consistera à reproduire la structure que nous avons pu extraire de l'utilisation concrète d'un vecteur de représentation à un niveau plus abstrait. Au niveau concret, de manière schématique, nous disposons d'un catalogue de modèles possibles pouvant être coordonnés de diverses façons, et les données empiriques et téléologiques du contexte nous permettaient de sélectionner le modèle et la coordination pertinente en suivant certaines règles. De manière analogue, on peut considérer que le théoricien dispose d'un catalogue d'outils théoriques : des méthodes, théories, classes de modèles, etc. En fonction de ses buts (typiquement, apporter une compréhension ou expliquer les phénomènes d'un certain type), il pourra sélectionner et "coordonner" ces outils en suivant certaines normes, en vue de construire un modèle théorique.

Contrairement au cas de la représentation concrète, il n'est plus vraiment possible de distinguer une activité de simple construction sur la base de données empiriques et une activité de simple application d'outils plus abstraits à ce niveau (ce qui se rapprocherait le plus du modèle de données au niveau abstrait pourrait être le modèle phénoménologique (Jebeile et Barberousse 2016), mais il n'est pas certain que la distinction entre modèle phénoménologique et théorique soit si marquée (Frigg et Hartmann 2020)). En effet, contrairement aux cas de construction de modèles de données, le contenu d'un modèle théorique ne s'appuie pas exclusivement sur des données empiriques, mais aussi sur les théories. Les données empiriques servent plutôt à justifier ces modèles. Mais contrairement aux cas d'application à des fins de prédiction, il ne s'agit pas d'un simple processus d'application de la théorie, mais d'un processus créatif. Il s'agit typiquement d'émettre des postulats spécifiques au type de phénomène particulier qui nous intéresse et d'adopter les idéalizations adéquates. Autrement dit, le modèle théorique est un médiateur entre théorie et expérience (Morgan et Morrison 1999).

Nous pouvons introduire une notion de *contexte de recherche*, l'analogue du contexte d'application concret envisagé dans la partie précédente, à même de fournir des données téléologiques et empiriques pertinentes au théoricien. Les données téléologiques seront par exemple : "je souhaite comprendre le mécanisme de propagation de ce virus", et les données empiriques seront constituées de généralisations empiriques issues d'expériences passées, par exemple, "le virus interagit avec telle protéine", dont on souhaite rendre compte avec ce nouveau modèle. Ces données empiriques sont généralement constituées de représentations construites à des niveaux plus concrets suivant le processus analysé dans la partie précédente, typiquement, des modèles de données ou des descriptions de caractéristiques importantes des phénomènes (bien que d'autres modèles théoriques bien confirmés

peuvent être utilisés comme tel). Le contexte de recherche ainsi défini prend place dans un contexte plus large, qu'on appellera le *contexte disciplinaire*, qui fournit un ensemble d'outils théoriques jugés fiables au sein de la communauté, y compris un vocabulaire permettant de catégoriser les phénomènes et leurs propriétés, un ensemble de lois générales et des méthodes de construction de modèles.

La proposition d'un modèle théorique dans un contexte de recherche commencera typiquement par considérer un ensemble d'hypothèses pertinentes sur la base des recherches passées. Ces hypothèses sont compatibles avec le cadre théorique au sein duquel la recherche prend place, et elles peuvent être motivées par des considérations d'ordre empirique ou de l'ordre de la stratégie de recherche, permettant une pré-sélection des hypothèses les plus prometteuses. On peut juger que la téléologie joue un rôle important à ce stade (notamment quand il s'agit d'évaluer si une hypothèse est prometteuse ou non). Des modèles incorporant certaines hypothèses peuvent alors être construits à l'aide d'outils théoriques standards, et confrontés aux données empiriques afin de sélectionner le "bon" modèle, celui qui sera confirmé par l'expérience.

Une illustration (choisie pour être l'article le plus cité d'une des meilleures revues de physique des matériaux, mais d'autres auraient pu être utilisées) est l'étude de Wang et Wang (2019) évaluant un ensemble d'hypothèses pour expliquer l'électrification par contact (les phénomènes électriques qui apparaissent quand on frotte deux matériaux par exemple). Les hypothèses considérées, à savoir le transfert d'électron, le transfert d'ions et le transfert de matériaux, sont introduites sur la base de la littérature existante du domaine. Un modèle de mécanique quantique élaboré suivant l'hypothèse de transfert d'électron est proposé, et différentes études empiriques, concernant par exemple l'effet de la température sur le phénomène ou celui de l'humidité, sont considérées pour trancher en faveur de ce modèle et en défaveur des hypothèses alternatives. La justification est apparemment inductive : les auteurs considèrent implicitement que les expériences particulières ayant permis de construire les modèles de données utilisés pour la justification sont suffisamment représentatives de toutes les expériences qu'on pourrait faire pour confirmer le modèle en toute généralité.

Ainsi, les rôles respectifs des données empiriques, de la téléologie et du cadre théorique sont difficiles à distinguer pour ce qui est de la délimitation des hypothèses pertinentes en amont de la justification, mais une généralisation inductive sur la base des données empiriques issues de contextes d'application concrets jouent clairement un rôle décisif pour la sélection d'un modèle et son acceptation au sein de la communauté.

À la lumière de ces remarques, une manière d'envisager la relation entre contexte de recherche et contexte d'application

est la suivante : *un contexte de recherche n'est rien de plus qu'un ensemble de contextes d'application potentiels associé à un ensemble de représentations théoriques envisageables.* Bien sûr, il ne s'agit pas d'un ensemble de contextes d'application disparates, mais d'un ensemble de contextes possédant des caractéristiques communes : par exemple, s'intéressant à des objets et propriétés du même type, comme l'électrification par contact, sous divers aspects. Le théoricien s'intéresse finalement, d'un point de vue abstrait, à ce que toutes ces activités concrètes potentielles ont en commun : le fait de concerner un type d'objet et de propriété en particulier. Les représentations théoriques envisageables du contexte de recherche sont celles qui sont à même de représenter ces types d'objets de manière unifiée, quelles que soient les circonstances ou contextes particuliers, et en conformité avec les normes du contexte disciplinaire. Le but est de fournir des normes de représentation applicables à tous ces contextes d'application.

On peut résumer cette proposition par les thèses suivantes :

- Les données téléologiques d'un contexte de recherche (celles qui définissent le but du théoricien) correspondent aux caractéristiques communes des données téléologiques d'un ensemble de contextes d'application potentiels.
- Les données empiriques d'un contexte de recherche sont des généralisations inductives de données empiriques concernant le même ensemble de contextes d'application potentiels.

Au moment de développer son modèle, le théoricien pourra considérer un contexte d'application fictif qui joue le rôle de représentant de l'ensemble des contextes d'application potentiels que son contexte de recherche délimite, ce dont rendent compte les théories fictionnelles de la représentation (Frigg 2010; Levy 2015; Toon 2012). Par exemple, un théoricien développant un modèle proie-prédateur imaginera des populations de proies et de prédateurs fictives (éventuellement caricaturales) afin de voir comment son modèle pourrait en principe être appliqué. Cependant, la cible ultime du modèle, ce sont des contextes d'application concrets potentiels.

Ceci ne signifie pas que le théoricien a forcément en vue des applications particulières (bien que l'article de Wang et Wang (2019) mentionné plus haut exprime dès l'introduction ce type de motivation). Le modèle qu'il produit pourra servir à faire des inférences générales ("Il faut utiliser tel médicament pour éviter la propagation du virus") sans jamais être appliqué directement dans un contexte concret. Ce qui compte, pour que ces inférences générales soient valide, c'est qu'on puisse justifier que *si le modèle était concrètement appliqué à chaque cas, les inférences qu'il permet seraient valides à propos de chacun de ces cas.* En ce sens, il est légitime de

comprendre le contexte de recherche comme un ensemble de contextes d'application potentiels.

Ceci éclaire la façon dont les modèles de données sont construits par exploration relativement exhaustive d'une plage de possibilités a priori : leur fonction est de représenter un ensemble le plus large possible d'applications potentielles. Ils s'affranchissent en quelque sorte de buts locaux par généralisation. Et si la visée du modèle général est explicative plutôt que prédictive, on peut penser que le pouvoir explicatif du modèle tient essentiellement à sa capacité à rendre compte des facteurs pertinents dans un ensemble large de cas d'application potentiels distincts, c'est-à-dire de rendre compte des "motifs contrefactuels" communs à toutes ces instances. Ceci correspond à la manière dont est souvent analysée la notion d'explication scientifique (Woodward 2004; Bokulich 2011). Un modèle explicatif en ce sens aura de la valeur quelle que soit l'application envisagée. Ainsi, l'intégration d'une variété de buts locaux potentiels nous rapproche de buts proprement épistémiques.

3.2 Hiérarchie d'abstraction

Une objection à cette caractérisation de contexte de recherche comme ensemble de contextes d'application potentiels consiste à remarquer que certains modèles théoriques sont strictement inapplicables, et semblent pourtant avoir une valeur scientifique. Non seulement l'instance d'application considérée par le théoricien pour développer le modèle est fictive, mais le type d'objet représenté l'est également (ce que Weisberg (2013, ch. 7) appelle "targetless modeling", modélisation sans cible).

C'est le cas, par exemple, du modèle de ségrégation de Schelling, qui nous demande de nous représenter une ville comme un échiquier sur lequel sont placés des pions blancs et noirs et d'appliquer certaines règles pour déplacer les pions : penser qu'on pourrait coordonner ce modèle à une ville réelle pour faire des prédictions fiables est largement illusoire, et ne semble pas utile pour que le modèle réalise sa fonction explicative. C'est le cas également de certaines expériences de pensée, comme celle du démon de Maxwell ou de l'ascenseur d'Einstein, dont le but est avant tout d'interroger les conséquences d'une théorie. Si ces modèles peuvent parfois finalement donner lieu à des applications concrètes (au prix d'adaptations), celles-ci ne jouent pas de rôle essentiel : le modèle a une valeur théorique même s'il n'est jamais réellement appliqué.

Pour rendre compte de ces cas, il est nécessaire de monter encore d'un ou plusieurs niveaux dans la hiérarchie d'abstraction. Nous avons indiqué précédemment que le contexte de recherche se situe lui-même au sein d'un contexte disciplinaire à même de lui fournir un ensemble d'outils théoriques. Si le contexte de recherche peut se comprendre comme

ensemble de contextes d'application potentiel, l'idée vient naturellement de concevoir le contexte disciplinaire comme un ensemble de contextes de recherche potentiels, caractérisés par un intérêt envers une même *classe* de phénomènes ou de propriétés (les phénomènes biologiques en général par exemple). Rien n'empêche bien sûr d'affiner la hiérarchie en augmentant le nombre de niveaux (la biologie évolutionnaire et la biologie moléculaire).

Si l'on applique le même modèle, on concevra, de manière schématique, qu'à chaque niveau d'abstraction donné, le théoricien emprunte des outils théoriques produits au niveau supérieur en vue de produire des outils théoriques utilisables par le niveau immédiatement inférieur *quel que soit le contexte de niveau inférieur* dans l'ensemble défini par son contexte. Les nouvelles propositions théoriques visent en général à unifier des modèles théoriques bien confirmés représentant des phénomènes divers (par exemple, ceux issus de la mécanique classique et de la théorie électromagnétique de Maxwell pour la théorie de la relativité), quitte à réinterpréter ces modèles quand ils ont été produits dans un autre cadre théorique. Elles sont construites en empruntant aux anciennes théories certaines normes très abstraites (des principes de symétrie et de conservation), qu'on pourrait associer à un contexte encore plus large. Ainsi, les modèles bien confirmés de niveau plus concret (contextes de recherche) jouent un rôle s'apparentant aux données empiriques, et les principes méta-théoriques jouent le rôle d'outils normatifs issus d'un niveau plus abstrait.

On pourrait rapprocher cette hiérarchie des contextes à une hiérarchie des représentations elles-mêmes, telle qu'analysée par Giere (1988) : les modèles concrets exemplifient des modèles plus abstraits en renseignant la valeur d'un paramètre ou en complétant sa dynamique. Il faut cependant noter que les modèles peuvent emprunter à plusieurs théories distinctes (par exemple, représenter un système quantique dans un environnement classique), et concevoir les modèles abstraits comme des outils à disposition du théoricien permet de rendre compte de cette flexibilité.

Considérer des niveaux d'abstraction plus élevés permet de comprendre pourquoi certains modèles, comme le modèle de ségrégation de Schelling, ont une valeur même s'ils ne sont pas vraiment applicables au monde réel. De même que les applications potentielles d'un contexte de recherche n'ont pas besoin d'être instanciées pour que ce dernier remplisse sa fonction explicative, un contexte disciplinaire n'a pas à représenter uniquement des types de systèmes instanciables. La fonction des fictions comme le modèle de Schelling n'est pas de représenter un système réel, mais seulement de nous aider à déterminer des normes de représentation en principe applicables à tous les contextes de recherche appartenant à la même classe, dont certains, ceux qui nous intéressent plus directement, ont des instances réelles. À ce titre, le fait

que l'objet représenté (une ville ressemblant à un échiquier) soit une pure fiction n'a pas grande importance du moment qu'il appartient à une classe de systèmes intéressante. Ceci rejoint les analyses du modèle de Schelling et des "fictions explicatives" en général : il est fréquemment avancé que la pertinence du modèle de Schelling tient au fait que les villes réelles et la ville fictive du modèle pourraient appartenir à la même classe d'abstraction (Rice 2021).

On pourrait ajouter, pour parfaire notre modèle, que certains contextes sont *performatifs*. Un énoncé est dit performatif si le simple fait de l'énoncer dans des conditions adéquates rend cet énoncé vrai (Austin 1975). C'est le cas par exemple lors d'un baptême ("Tu t'appelleras Marie"). Certaines activités de représentation concrète sont performatives, au sens où le but de l'application du modèle est de rendre son contenu vrai par l'implémentation d'une situation adéquate. Dans ce cadre, la coordination entre modèle et réalité n'est pas simplement affaire d'observer le monde pour déterminer les référents des symboles, mais aussi de modifier le monde pour qu'il exemplifie les référents que l'on souhaite associer aux symboles du modèle. C'est typiquement le cas en science quand un cadre expérimental est mis en place pour tester un modèle : on préparera un système dans un état initial adéquat, on positionnera les instruments de manière à reproduire le modèle, etc. C'est le monde qui doit s'ajuster au modèle, et non l'inverse. C'est certainement le cas également dans le cadre de l'application de modèles en ingénierie.

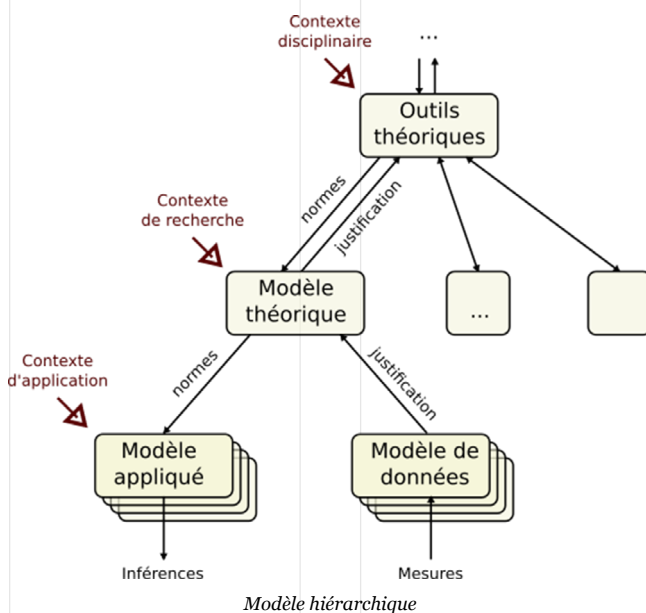
Cette performativité peut être étendue à différents niveaux d'abstraction. Un contexte de recherche, voire un contexte disciplinaire comme l'informatique quantique, ne prend pas forcément pour objet des phénomènes préalablement identifiés : il peut viser des contextes d'application artificiels qu'on souhaite implémenter. On peut alors parler de performativité du modèle théorique (qui induira une performativité au niveau applicatif également). Un exemple est le cas où un modèle est construit spécifiquement pour départager plusieurs hypothèses ou théories plutôt que pour expliquer un phénomène préexistant.

Autrement dit, la modalité impliquée quand on associe un contexte abstrait à un ensemble de contextes concrets *potentiels* est avant tout téléologique, même si elle peut recouvrir des contextes concrets déjà implémentés ou des phénomènes d'intérêt préexistant. Mais la modalité associée aux représentations acceptables au sein d'un contexte donné (quel modèle est "le bon") est épistémique.

3.3 Téléologie et empirie dans le modèle hiérarchique

Nous observons dans les analyses qui précèdent un schéma récurrent. Un contexte communautaire abstrait de niveau $n-1$ correspond à un ensemble de contextes potentiels plus

concrets de niveau n , parmi lesquels l'agent est libre de choisir en fonction de ces buts particuliers. Ce choix, en combinaison avec les outils fournis par le contexte abstrait, donne à l'agent les moyens de construire un ensemble de représentations a priori envisageables. Ces représentations sont susceptibles d'être appliquées dans des contextes encore plus concrets de niveau $n+1$. Les données empiriques issues de ces contextes concrets permettent à l'agent de contraindre les possibilités envisagées à son niveau n , jusqu'à sélectionner la représentation la mieux confirmée. Ce succès peut lui-même servir de donnée empirique pour le niveau $n-1$ plus abstrait (il se peut bien sûr qu'aucune représentation ne convienne, en quel cas on fait face à ce que Kuhn (1962) appelle une énigme ou une anomalie).



Dans ce modèle, les contraintes empiriques sont d'abord ascendantes : elles percolent, pour ainsi dire, des niveaux les plus concrets jusqu'aux niveaux d'abstraction plus élevés. Mais elles peuvent également redescendre aux niveaux plus concrets en limitant l'espace des représentations envisageables à ces niveaux par l'imposition de normes. En effet, le fait qu'un outil théorique s'est avéré fructueux dans de nombreux domaines suggère qu'il sera également fructueux quel que soit le domaine de la même classe, et lui confère un statut de norme pour la recherche ou les applications.

On observe une interaction entre différentes modalités. L'ensemble des contextes de niveau plus concret potentiels constituent des possibilités téléologiques associées à des buts possibles. L'ensemble des représentations envisageables dans un contexte donné, celles qui sont compatibles avec les outils du niveau plus abstrait et avec les données du niveau plus concret, constituent des possibilités épistémiques (et on pourrait ajouter que chaque représentation représente un ensemble de possibilités naturelles pour son objet).

Les données téléologiques déterminent donc, dans ce modèle hiérarchique, un certain *domaine de pertinence* pour les représentations associées. Ce domaine de pertinence confère à ces représentations une certaine valeur qui dépendra du contexte social. On peut par exemple attribuer une valeur positive à un modèle de propagation du cancer, mais une valeur négative à un modèle de bombe atomique, et il s'agit là d'un jugement relatif à notre contexte social. Cette valeur est pour ainsi dire horizontale, puisqu'elle ne dépend pas d'autres niveaux d'abstraction (en tout cas pas directement : la sélection d'un domaine de recherche peut être motivée par ses applications potentielles, ou par son intérêt théorique). Mais les représentations qui seront finalement sélectionnées ont en plus de cette valeur horizontale une valeur verticale, essentiellement conférée (1) de manière descendante, par la valeur attribuée aux normes théoriques utilisées pour leur construction, et (2) de manière ascendante, par la valeur attribuée aux représentations plus concrètes qui justifient cette représentation. Autrement dit, la représentation a de la valeur parce qu'elle parvient à ajuster de manière cohérente les niveaux plus abstraits et concrets de représentation. Et quand on descend jusqu'à la base ultime de justification, on arrive aux modèles de données, dont on a vu que le contenu est essentiellement empirique.

Cette approche correspond à une forme d'empirisme qui évite un travers de l'empirisme traditionnelle : celui de proposer une vision "aplatie" de la représentation scientifique (les théories directement confrontées aux observations), lui préférant une vision hiérarchique qui intègre une composante pragmatique (et intensionnelle) à chaque niveau, associée à la sélection d'un domaine d'intérêt.

On peut alors formuler à nouveaux frais la question du rôle des valeurs sociales en science de la manière suivante : les valeurs verticales attribuées aux représentations scientifiques dépendent-elles indirectement du contexte social ? Et si ce n'est pas le cas, c'est-à-dire si la téléologie concerne uniquement les valeurs horizontales, est-ce suffisant pour parler d'objectivité scientifique au sens de neutralité axiologique ?

4. Quel rôle pour les valeurs en science ?

Il faut concéder que dans le débat philosophique sur le rôle des valeurs en science, personne ne nie vraiment que les valeurs sociales puissent jouer un rôle de sélection des domaines de recherche pertinents (la recherche contre le cancer par exemple), que ce soit à travers les financements ou simplement par la motivation que ces valeurs induisent aux communautés de chercheurs. Personne ne nie non plus que les valeurs sociales puissent intervenir au moment d'acti-

tés concrètes comme le développement technologique ou la collecte de données (pouvant par exemple proscrire l'expérimentation animale). Il s'agit d'étapes de la recherche scientifique qui impliquent une interaction avec le monde extérieur. Les tenants de l'idéal de neutralité axiologique insistent plutôt sur les aspects purement *internes* de la recherche, ne nécessitant pas de contact avec l'extérieur (Longino 1990 ch. 5). Cet idéal de neutralité concernerait en particulier l'étape de justification des connaissances théoriques produites sur la base des données collectées, en aval de la sélection de sujets pertinents et en amont des applications : cette justification devrait être indépendante des valeurs sociales. Elle semble correspondre précisément à ce que nous avons qualifié de valeur verticale, soit une question d'ajustement purement "interne" entre représentations concrètes et abstraites.

Il est important de noter que l'idéal de neutralité est bien un idéal, soit une thèse normative : ses défenseurs n'affirment pas que l'idéal est atteint, si bien que la mise au jour de biais dans la recherche (le fait qu'une communauté essentiellement masculine échoue à envisager certaines hypothèses archéologiques pourtant pertinentes par exemple) n'est pas en soi un argument contre la thèse qu'il *faudrait* se rapprocher de cet idéal (voir Ruphy 2006). Cependant, s'il s'avérait que cet idéal n'est pas suivi par la communauté scientifique, qu'on ne cherche pas à corriger ce type de biais, ou s'il s'avérait que ces biais ne sont pas corrigibles et donc que l'idéal est en principe inatteignable, ceci affaiblirait substantiellement la thèse.

4.1 Les arguments contre la neutralité axiologique

L'idéal de neutralité axiologique peut être attaqué de plusieurs manières. Un premier type d'attaque consiste à faire valoir que la validation des hypothèses théoriques est sous-déterminée par les données empiriques, si bien que d'autres valeurs doivent entrer en jeu : la simplicité, la cohérence, la portée et la fructuosité. Ces valeurs sont souvent considérées comme étant cognitives ou épistémiques plutôt que sociales, mais on peut objecter (1) que la distinction entre valeur épistémique et valeur sociale est floue, et que ces valeurs elles-mêmes dépendent en fait du contexte social (Longino 1996), (2) qu'outre ces valeurs, des présupposés métaphysiques sont aussi impliqués dans le choix théorique, et ceux-ci pourraient dépendre du contexte social (*ibid*), ou enfin (3) que la manière d'arbitrer entre ces valeurs, de les ordonner en termes de priorité, dépendrait du contexte de recherche et du contexte social (Kuhn 1977). L'idéal de neutralité serait donc en principe inatteignable.

Cette conclusion peut servir à justifier une plus grande inclusivité en science : puisqu'on n'échappe pas aux jugements de valeur, il faudrait inclure dans la communauté scientifique un ensemble de points de vue ou d'origines sociales aussi divers

que possible. Il faudrait également rendre les valeurs explicites dans la mesure du possible et les ouvrir à la discussion au sein des communautés de chercheurs.

Un second type d'attaque (qui peut être combiné au précédent) consiste à remettre en question l'objectivité des catégories utilisées en science en faisant valoir que les termes théoriques à l'aune desquels les observations sont interprétées, par exemple des termes comme "biodiversité", sont souvent chargés de valeur (Kincaid, Dupré, et Wylie 2007 ch. 1). Or cela ne semble pas être jugé problématique : l'idéal de neutralité ne serait donc pas vraiment suivi par les scientifiques.

Un troisième type d'attaque est basée sur la notion de *risque épistémique* (Douglas 2009; Vorms et Hahn 2021). Dans un contexte d'incertitude, accepter ou rejeter une hypothèse à tort constitue un risque social potentiel, en particulier quand l'acceptation de l'hypothèse peut servir à justifier des actions politiques. Si l'enjeu est important, on devrait considérer sérieusement des possibilités peu probables qu'on aurait exclues comme insignifiantes si l'enjeu avait été moindre, ou bien l'on devrait accepter des hypothèses impliquant un risque important même si un doute subsiste. Pour prendre un exemple quotidien, je pourrais ignorer la possibilité infime qu'il pleuve si mes vêtements sont sans valeur, mais pas si je porte un costume très cher. De même en science, on devrait considérer sérieusement le risque de catastrophe nucléaire, même s'il est infime, en vertu de sa gravité. Ou encore, on devrait interdire par précaution un médicament aux effets secondaires potentiellement mortels, même si un doute subsiste quant à sa dangerosité réelle. On peut en conclure, à l'instar de Douglas, que les valeurs sociales *devraient* jouer un rôle pour la confirmation des hypothèses à travers l'évaluation du risque d'erreur : l'idéal de neutralité n'est pas souhaitable. Ces conclusions peuvent servir à justifier une intégration plus forte entre la sphère scientifique et politique (cependant la neutralité axiologique reste défendue par certains auteurs ; pour un examen critique de ce type d'arguments dans le cadre du changement climatique, voir par exemple John (2015)).

Examinons comment ces arguments s'appliquent au modèle hiérarchique proposé dans la section précédente.

4.2 Le problème de la sous-détermination

Le problème de la sous-détermination est le suivant : en principe, plusieurs hypothèses incompatibles peuvent rendre compte des mêmes observations, si bien que d'autres critères que l'adéquation empirique doivent entrer en jeu au moment de la sélection d'hypothèses.

La sous-détermination est un problème logique dont il n'est pas évident de rencontrer des cas concrets en science (si l'on exclut les cas relatifs à l'interprétation métaphysique des théories, qui occupent sans doute plus les philosophes que les

scientifiques) : il semble que les scientifiques soient en général capable de sélectionner consensuellement les meilleures hypothèses et théories sur la base de données empiriques, et ils n'invoquent pas explicitement de valeurs sociales ni même de valeurs épistémiques pour faire ces choix (Giere 2003). Le modèle hiérarchique de représentation scientifique proposé dans la section précédente peut permettre d'en rendre compte.

En effet, suivant ce modèle hiérarchique, la construction de modèle scientifique résulte d'un ajustement entre des données empiriques issues d'applications concrètes et les normes issues du cadre disciplinaire plus abstrait dans lequel la construction prend place. Le cadre théorique limite le nombre d'hypothèses envisageables, et on peut penser que pour un cadre théorique donné, associé à des standards expérimentaux, il existe la plupart du temps des moyens de départager empiriquement les différentes hypothèses. On pourra arguer que cela ne fait que reporter le problème de sous-détermination au niveau de la sélection du cadre théorique lui-même. Mais puisque, selon notre modèle, le même schéma se reproduit au niveau plus abstrait, le même argument peut être proposé pour résoudre le problème.

Si l'on replace cette solution dans le contexte traditionnel dans lequel est formulé le problème de sous-détermination, cela revient, en pratique, à coopter les valeurs de cohérence et de portée pour en faire des valeurs dérivées de l'adéquation empirique. La valeur d'un modèle tient non seulement à sa capacité à rendre compte des données empiriques des niveaux d'application plus concret, mais aussi à sa conformité avec un cadre théorique. Or celui-ci est lui-même justifié par sa capacité à unifier un large domaine d'applications potentielles. Ainsi, la conformité avec le cadre théorique est ultimement une affaire de cohérence avec d'autres domaines d'application connexes inclus dans le même cadre théorique, et cette cohérence aura d'autant plus de valeur que le cadre théorique a une portée large. Ces valeurs que sont la cohérence et la portée sont propres à la structure du modèle hiérarchique, et donc indépendantes du contexte social dans lequel ce modèle prend place. On peut postuler qu'elles confèrent aux représentations une certaine robustesse vis-à-vis de variations dans les circonstances d'application, une caractéristique souhaitable quel que soit le but que l'on poursuit (pour une analyse de l'unification comme critère empirique, voir Myrvold (2003); Myrvold (2017)).

Cependant on peut produire un argument plus fort à l'encontre de l'idéal de neutralité qui est le suivant. Une représentation abstraite n'est idéalement justifiée par des représentations plus concrètes que si celles-ci sont représentatives de l'ensemble des applications concrètes potentielles dans le domaine de pertinence de la représentation abstraite. Par exemple, la théorie quantique n'est idéalement justifiée par l'expérience que si les modèles de cette théorie qui ont été

confirmés empiriquement couvrent un ensemble suffisamment large d'applications possibles pour cette théorie, soit des types de phénomènes suffisamment variés, et chaque modèle n'est lui-même justifié que s'il a été testé dans des circonstances suffisamment variées. Il est peut-être possible d'être relativement exhaustif quand on se situe dans les niveaux de représentation les plus concrets. L'espace des applications possibles pour un modèle très précis est limité par les paramètres libres du modèle, et l'on peut effectuer des tests empiriques comprenant une plage représentative de possibilités en faisant varier les valeurs de ces paramètres et les circonstances. Mais ceci est plus difficile aux niveaux abstraits, puisque le nombre de "paramètres libres" ou l'espace des hypothèses envisageables n'est plus forcément appréhendable de manière exhaustive. Or, si les applications ou les contextes de recherche sont développées suivant nos intérêts, et si ceux-ci dépendent de valeurs sociales, alors les cadres les plus abstraits risquent d'être biaisés en faveur de ces contextes jugés intéressants, bien testés, au détriment des autres contextes potentiels moins intéressants, donc moins bien explorés. Alors nos théories abstraites ne jouissent pas de l'universalité qu'on leur accorde, puisque leur fiabilité est évaluée sur un échantillon non-représentatif d'applications possibles.

Ce problème concerne la justification ascendante, mais il peut se répercuter sur la justification descendante : si un cadre théorique est lui-même mal justifié, il peut limiter inutilement les théoriciens au moment de considérer des hypothèses envisageables pour rendre compte d'un type de phénomène.

On peut avoir plusieurs réactions face à cet argument. La première consiste à maintenir que les modèles et théories scientifiques ont une valeur objective *au sein de leur domaine de pertinence*, quitte à limiter ce domaine à ce qui a été bien exploré empiriquement. Si l'on en croit cette réponse, la bonne manière de respecter l'idéal de neutralité serait de rendre nos valeurs explicites, comme le préconisent de fait certaines autrices qui s'opposent à l'idéal de neutralité, afin de limiter de manière ad-hoc le domaine de pertinence des représentations scientifiques (on pourrait adopter la même stratégie pour répondre en partie au problème du risque épistémique : si le risque d'accepter à tort une hypothèse est élevé pour certaines applications, il faudrait restreindre le domaine de pertinence de l'hypothèse de manière ad-hoc plutôt que de la rejeter entièrement).

Le problème est que cette réponse s'apparente plus à une concession qu'à un sauvetage de l'idéal de neutralité. En effet, si l'on en vient à délimiter les domaines de pertinence de nos représentations relativement à nos valeurs plutôt que de manière objective, à la manière dont les pêcheurs classifient les poissons suivant leurs besoins plutôt que suivant la phylogénie naturelle, alors peu importe que nos représen-

tations soient objectivement fiables dans leur domaine de pertinence : la science n'est plus réellement une activité de production de représentations objectives de la nature. Les valeurs sociales ne jouent plus un rôle exclusivement sélectif, puisqu'elles affectent la catégorisation des phénomènes à partir de laquelle les modèles sont construits, ce peut-être jusqu'à l'interprétation des données empiriques. La valeur des modèles est alors essentiellement instrumentale, et subordonnée aux valeurs sociales.

Une seconde manière de sauver l'idéal de neutralité consiste à rappeler qu'il s'agit bien d'un idéal, et pas forcément de quelque chose d'atteint. Idéalement, donc, nous devrions appliquer les théories y compris dans des contextes socialement inintéressants, ne serait-ce que pour s'assurer de leur robustesse. Il est légitime de penser que cet idéal est en partie suivi par les scientifiques, notamment en physique : un accélérateur de particule n'est pas en soi une application socialement intéressante de la théorie, mais il s'agit d'une application intéressante pour tester les limites d'application de la théorie. De même, Barberousse et Ludwig (2009) remarquent que certains modèles scientifiques incorporent des idéalizations dont la fonction est de palier par construction les problèmes de sous-détermination par l'expérience. L'intérêt de tels modèles ne réside apparemment pas dans leurs applications potentielles.

Si une concession est faite ici, elle tient à ce que l'on est prêt à accepter que nos représentations actuelles, nos meilleures théories scientifiques, pourraient être, en l'état, relatives à certains contextes sociaux plutôt qu'universellement acceptables. Mais l'idéal de neutralité n'est pas en principe inatteignable, et il semble être suivi par les scientifiques au moins dans certains cas.

4.3 La charge évaluative des termes théoriques et le risque épistémique

Nous avons vu l'importance que revêt l'objectivité de nos catégorisations du monde pour défendre l'idéal de neutralité. En effet, une représentation est confirmée empiriquement dans son domaine de pertinence, mais si la délimitation de ce domaine et de ses objets est relative à un contexte social, alors les valeurs sociales jouent un rôle constitutif plutôt que simplement sélectif dans la représentation scientifique. Le contenu même des modèles doit être interprété relativement à des intérêts sociaux.

Intuitivement, on peut penser que le terme "biodiversité" est chargé de valeurs sociales (la protection de l'environnement), et de même pour de nombreuses catégories issues des sciences humaines et sociales. Cependant il est plus difficile d'imaginer que ce soit le cas pour des catégories d'objets et de propriétés comme "électron", "température" et "protéine" : si ces catégories peuvent acquérir une valeur *dans certains*

contextes ("protéine" dans le contexte de la nutrition, "température" dans le contexte du changement climatique), elles n'en ont pas de manière parfaitement universelle, précisément parce que les valeurs qu'elles peuvent acquérir dans des contextes concrets sont multiples. Ainsi la validité de ces propriétés et catégories semble plutôt reposer sur une stabilité empirique ou sur la capacité de leur associer des représentations unifiées.

Le modèle hiérarchique proposé dans cet article permet de comprendre pourquoi on observe ce type de différence. On peut associer à un terme donné un contexte plus ou moins abstrait qui correspond au niveau le plus élevé de la hiérarchie au sein duquel le terme est applicable. Certains termes, comme "cancer" appartiennent à un contexte de recherche plus restreint que d'autres termes comme "cellule", propre à un contexte disciplinaire large. Or, un contexte est associé à une gamme de buts potentiels d'autant plus restreinte, et donc à des buts d'autant moins susceptibles d'être largement partagés, que ce contexte est concret. Il est associé à une gamme de buts potentiels d'autant plus large, et donc à des buts d'autant plus universels et moins affectés par le contexte social, qu'il est abstrait. Un type de but très abstrait comme "interagir avec la matière en général" associé au contexte et aux catégories de la physique théorique est potentiellement intéressant quel que soit le contexte social. On peut même imaginer que des êtres cognitifs très différents de nous dans des systèmes sociaux incomparables pourraient entretenir des buts appartenant à cette catégorie. À la limite de l'abstraction, le choix d'axiomes pertinents en mathématique ne semble pas être affecté par de quelconques valeurs sociales. La neutralité vis-à-vis de valeurs locales dans notre catégorisation du monde peut donc être atteinte ou du moins approchée par abstraction vis-à-vis de buts locaux, simplement parce qu'un contexte abstrait correspond à une variété de buts concrets potentiels d'autant plus importante que le contexte est abstrait.

Les catégories des niveaux de représentation abstraits peuvent être utilisées pour normer les niveaux plus concrets, au sens où les catégories plus spécifiques qui y sont définies, et donc les buts associés à ces niveaux, devraient idéalement être définies en termes des catégories les plus générales, à la manière dont des composés chimiques particuliers peuvent être définies en utilisant les catégories générales de la physique (le numéro atomique). De nouveau, on peut postuler que cette cohérence avec les théories abstraites confère une forme de robustesse, et qu'il s'agisse d'une valeur susceptible d'être partagée par n'importe quel agent cognitif, puisqu'elle est désirable quel que soit son but : on pourrait alors parler de valeur purement cognitive. Le fait d'emprunter les catégories d'un niveau plus abstrait est aussi ce qui permet à une représentation de jouer son rôle de justification pour les représentations plus abstraites. Mais rien n'empêche que dans certains cas ces catégories reposent sur des regroupements

arbitraires du point de vue de la théorie, à l'instar de la classification des maladies psychologiques sur la base de faisceaux de symptômes. Ces regroupements sont alors motivés par des buts qu'on peut soupçonner d'être spécifiques à un contexte social, voire à une communauté. Dans ce cas, les catégories scientifiques sont chargées de valeurs, mais sans que ce soit forcément problématique : libre à chacun de s'intéresser à une catégorie comme la biodiversité, même si elle ne constitue pas un regroupement parfaitement naturel. On peut alors accepter un modèle suivant des critères "horizontaux" plutôt que seulement "verticaux" : parce qu'il implémente une définition de la biodiversité qui répond à nos besoins.

La même analyse peut être appliquée à la notion de risque épistémique. Lorsqu'une représentation est produite dans un contexte relativement concret, incluant un nombre restreint de buts potentiels, il est possible, en cas d'incertitude, que l'acceptation ou le rejet d'une représentation soit socialement risqués. Si, par contre, on a affaire à une représentation très abstraite, une théorie fondamentale ou un formalisme mathématique par exemple, évaluer le risque d'erreur n'a plus grand sens. Le cadre est applicable à un tel éventail de contextes potentiels que le risque d'erreur dépendra des détails associés à ces contextes plutôt que du cadre dans son ensemble, et le risque devra être évalué à ces niveaux plus concrets. Une influence de valeurs sociales propres à un seul domaine d'application potentiel pour évaluer le cadre abstrait dans son ensemble n'est en rien souhaitable. Cela relèverait d'une forme d'hégémonie problématique du local sur le général.

En somme, le modèle hiérarchique implique en effet que les valeurs sociales peuvent jouer un rôle dans la délimitation de catégories d'intérêt, ce qui peut avoir un effet constitutif plutôt que simplement sélectif sur les représentations scientifiques. Il est également compatible avec l'idée que les valeurs devraient être prises en compte en contexte d'incertitude pour l'acceptation d'hypothèses. Mais il permet de tempérer ces remarques, en les reléguant aux domaines les plus concrets et appliqués de l'activité scientifique. Plus on s'élève dans les niveaux d'abstraction, et moins le contexte social devrait être pertinent pour évaluer les hypothèses et catégoriser le monde.

De plus, il est possible, si l'on accepte le modèle hiérarchique, de voir en quoi exactement une certaine forme de neutralité axiologique est souhaitable, et à quel moment une influence des valeurs sociales devient problématique pour la bonne marche de la science.

La thèse que je souhaite avancer est que les valeurs deviennent problématiques quand elles appartiennent à un contexte de niveau plus concret que celui dans lequel elles sont utilisées, c'est-à-dire quand elles répondent à des buts trop spécifiques. Quand les buts de la recherche sont généraux (comprendre

un phénomène), les valeurs associées à des buts plus précis (utiliser cette compréhension pour développer une technologie en particulier ou pour justifier une thèse politique) ne devraient pas jouer de rôle dans la justification. Après tout, le risque épistémique peut prendre plusieurs formes, dont certaines sont problématiques. Accepter à tort qu'un médicament est inefficace constitue un risque financier pour un laboratoire, mais bien qu'on puisse analyser ce cas en termes de risque épistémique, il ne s'agit pas d'une influence légitime des valeurs en science. Selon ma thèse, la raison serait la suivante : le contexte financier du laboratoire est trop local pour que les valeurs associées puissent aider à déterminer quelles hypothèses sont acceptables dans le contexte plus général du développement du médicament. Cependant, un risque d'effet secondaire mortel est pertinent, car il concerne des valeurs associées au bon niveau d'abstraction, celui associé aux catégories du champ de recherche.

5. Conclusion: faits et valeurs, locaux et globaux

J'ai proposé dans cet article un modèle hiérarchique du fonctionnement des sciences. Un contexte à un certain niveau est associé à un ensemble de contextes de niveau plus concret potentiels, et à un ensemble de représentations évaluées à leur capacité à unifier les représentations du niveau plus concret tout en respectant les normes imposées par un niveau plus abstrait.

La dimension associée aux niveaux d'abstraction et l'axe fait-valeur sont orthogonaux : il existe des faits concrets (locaux) et abstraits (généraux), comme il existe des valeurs concrètes, associées à des buts très particuliers, et des valeurs abstraites susceptibles d'être plus largement partagées quel que soit notre but. Ceci nous oblige à adopter une analyse plus fine du rôle légitime ou illégitime des valeurs en science que ne le permet une version naïve de l'idéal de neutralité. Notre proposition, à cet égard, consiste à considérer qu'une influence de valeurs associées à un niveau concret sur des représentations de niveau plus abstrait est illégitime.

On peut dire, suivant ce modèle, que l'objectivité des sciences tient essentiellement à sa capacité à s'élever dans les niveaux d'abstraction de manière à se déconnecter de valeurs locales pour se tourner vers des valeurs plus universelles. La scientificité d'une représentation tient non pas à sa neutralité, mais à son intégration dans une hiérarchie de représentations plus abstraites et moins affectées par le contexte social. Mais puisque la dimension fait-valeur est orthogonale aux niveaux d'abstraction, il faut accepter qu'en nous déconnectant de valeurs locales pour poursuivre des buts plus universels ou "désintéressés", nous nous déconnectons aussi bien de *faits*

locaux au profit de généralités de moins en moins tangibles. Tel est le prix à payer pour atteindre une certaine objectivité. Pour autant, on devrait prendre garde, si l'on veut se faire une image fidèle du fonctionnement des sciences et de ce qu'elles produisent, de ne pas les couper de leurs racines concrètes.

Recherches financées par le conseil européen de la recherche (Horizon 2020), bourse Marie Skłodowska-Curie No 101022338.

RÉFÉRENCES

- Austin, John. 1975. *How To Do Things With Words*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198245537.001.0001>
- Barberousse, Anouk, Sara Franceschelli, et Cyrille Imbert. 2009. « Computer Simulations as Experiments ». *Synthese* 169 (3): 557-74.
<https://doi.org/10.1007/s11229-008-9430-7>
- Barberousse, Anouk, et Pascal Ludwig. 2009. « Models as Fictions ». In *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, édité par Mauricio Suárez, 56-73. Routledge.
<https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203890103>
- Boesch, Brandon. 2017. « There Is a Special Problem of Scientific Representation ». *Philosophy of Science* 84 (5): 970-81.
<https://doi.org/10.1086/693989>
- Bokulich, Alisa. 2011. « How Scientific Models Can Explain ». *Synthese* 180 (1): 33-45.
<https://doi.org/10.1007/s11229-009-9565-1>
- Callender, Craig, et Jonathan Cohen. 2006. « There Is No Special Problem About Scientific Representation ». *Theoria: Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia* 21 (1): 67-85.
<https://doi.org/10.1387/theoria.554>
- Douglas, Heather. 2009. *Science, Policy, and the Value-Free Ideal*. University of Pittsburgh Press.
<https://doi.org/10.2307/j.ctt6wrc78>
- Elliott, Kevin, et Daniel McKaughan. 2014. « Nonepistemic Values and the Multiple Goals of Science ». *Philosophy of Science* 81 (1): 1-21.
<https://doi.org/10.1086/674345>
- Frigg, Roman. 2010. « Models and Fiction ». *Synthese* 172 (2): 251-68.
<https://doi.org/10.1007/s11229-009-9505-0>
- Frigg, Roman, et Stephan Hartmann. 2020. « Models in Science ». In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, édité par Edward N. Zalta. Stanford.
- Giere, Ronald. 1988. *Explaining Science: A Cognitive Approach*. University of Chicago Press.
<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226292038.001.0001>
- Giere, Ronald. 2003. « A New Program for Philosophy of Science? ». *Philosophy of Science* 70 (1): 15-21.
<https://doi.org/10.1086/367865>
- Giere, Ronald. 2004. « How Models Are Used to Represent Reality ». *Philosophy of Science* 71 (5): 742-52.
<https://doi.org/10.1086/425063>
- Hughes, Richard. 1997. « Models and Representation ». *Philosophy of Science* 64: S325-S336.
<https://doi.org/10.1086/392611>
- Jebeile, Julie, et Anouk Barberousse. 2016. « Empirical Agreement in Model Validation ». *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 56 (avril): 168-74
<https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2015.09.006>
- John, Stephen. 2015. « The Example of the IPCC Does Not Vindicate the Value Free Ideal: A Reply to Gregor Betz ». *European Journal for Philosophy of Science* 5 (1): 1-13.
<https://doi.org/10.1007/s13194-014-0095-4>
- Kincaid, Harold, John Dupré, et Alison Wylie. 2007. *Value-Free Science?* Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195308969.001.0001>
- Kuhn, Thomas. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, Thomas. 1977. « Objectivity, Value Judgment, and Theory Choice ». In *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, 320-39. Chicago: University of Chicago Press.
<https://doi.org/10.7208/chicago/9780226217239.001.0001>
- Levy, Arnon. 2015. « Modeling Without Models ». *Philosophical Studies* 172 (3): 781-798.
<https://doi.org/10.1007/s11098-014-0333-9>
- Liu, Chuang. 2015. « Re-Inflating the Conception of Scientific Representation ». *International Studies in the Philosophy of Science* 29 (1): 41-59.
<https://doi.org/10.1080/02698595.2014.979671>
- Longino, Helen. 1990. *Science as Social Knowledge: Values and Objectivity in Scientific Inquiry*. Princeton: Princeton University Press.
<https://doi.org/10.1515/9780691209753>
- Longino, Helen. 1996. « Cognitive and Non-Cognitive Values in Science: Rethinking the Dichotomy ». In *Feminism, Science, and the Philosophy of Science*, édité par Lynn Hankinson Nelson et Jack Nelson, 39-58. Dordrecht: Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-1742-2_3
- Morgan, Mary, et Margaret Morrison, éd. 1999. *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511660108>
- Myrvold, Wayne. 2003. « A Bayesian Account of the Virtue of Unification ». *Philosophy of Science* 70 (2): 399-423.
<https://doi.org/10.1086/375475>
- Myrvold, Wayne. 2017. « On the Evidential Import of Unification ». *Philosophy of Science* 84 (1): 92-114.
<https://doi.org/10.1086/688937>
- Rice, Collin. 2021. « Understanding Realism ». *Synthese* 198 (5): 4097-121.
<https://doi.org/10.1007/s11229-019-02331-5>
- Ruphy, Stéphanie. 2006. « Empiricism All the Way down: A Defense of the Value-Neutrality of Science in Response to Helen Longino's Contextual Empiricism ». *Perspectives on Science* 14 (2): 189-214.
<https://doi.org/10.1162/posc.2006.14.2.189>

Ruyant, Quentin. 2021. Modal Empiricism: Interpreting Science Without Scientific Realism. Vol. 440. Synthese Library. Cham: Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-72349-1>

Suárez, Mauricio. 2004. « An Inferential Conception of Scientific Representation ». *Philosophy of Science* 71 (5): 76779.
<https://doi.org/10.1086/421415>

Toon, Adam. 2012. *Models as Make-Believe*. London: Palgrave Macmillan UK.
<https://doi.org/10.1057/9781137292230>

Van Fraassen, Bas. 1980. *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/0198244274.001.0001>

Van Fraassen, Bas. 2008. *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199278220.001.0001>

Vorms, Marion, et Ulrike Hahn. 2021. « In the Space of Reasonable Doubt ». *Synthese* 198 (S15): 360933.
<https://doi.org/10.1007/s11229-019-02488-z>

Wang, Zhong Lin, et Aurelia Chi Wang. 2019. « On the Origin of Contact-Electrification ». *Materials Today* 30 (novembre): 3451.
<https://doi.org/10.1016/j.mattod.2019.05.016>

Weisberg, Michael. 2013. *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199933662.001.0001>

Woodward, James. 2004. *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*. Oxford: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/0195155270.001.0001>

HISTORIQUE

Article soumis le 25 juin 2022.
 Article accepté le 20 octobre 2022.

SITE WEB DE LA REVUE

<https://ojs.uclouvain.be/index.php/latosensu>

DOI

<https://doi.org/10.20416/LSRSPS.V10I1.3>

CONTACT ET COORDONÉES

Quentin Ruyant
 Universidad Complutense de Madrid
 quentin.ruyant@gmail.com

SOCIÉTÉ DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES (SPS)

École normale supérieure
 45, rue d'Ulm
 75005 Paris



SOCIÉTÉ DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES (SPS)

École normale supérieure
 45, rue d'Ulm
 75005 Paris
www.sps-philoscience.org

