

Bahram Djenab

(Docteur en Histoire des Sciences, EHESS, Paris)

Abstract.

The objective of this paper is to study the function of the image (model) in physics. The analysis of the physical theory in Duhem's work will show how classical physics has made a break with the metaphysical explanations. The quantum revolution has deepened this break by deconstructing the spatiotemporal intuitions (description of objects in space and time). The images lose their representative function. We propose to examine their role in scientific understanding. The image is excluded from the structure of the theory while retaining its place in the intelligibility of concepts and reference of the theory.

ملخص

الهدف من وراء هذا البحث هو دراسة وظيفة الصورة (النموذج) في الفيزياء. إن تحليل النظرية الفيزيائية في أعمال دوهام سيظهر لنا كيف أن الفيزياء الكلاسيكية أحدثت قطيعة مع التفسيرات الميتافيزيقية، و كيف أن ثورة الكوانتوم قامت بتعميق هذه القطيعة من خلال تفكيك الحدوس المكانية والزمانية (وصف الموضوعات في المكان و الزمان)، فتخلّصت بذلك الصور من وظيفتها التمثيلية. بناء على ذلك نقترح دراسة دور الصور في نمط الفهم العلمي من جهة فصل هذه الصور عن بنية النظرية و وصلها في الآن ذاته بمعقولية مفاهيم النظرية و مرجعيتها في الواقع.

Résumé

L'objectif de cet article est d'étudier la fonction de l'image (modèle) en physique. L'analyse de la théorie physique chez Duhem montre comment la physique classique a opéré une rupture avec les explications d'ordre métaphysique. La révolution quantique a approfondi cette rupture en déconstruisant les intuitions spatio-temporelles (la description des objets dans l'espace et le temps).

Les images perdent ainsi toute visée représentative. Nous proposerons d'examiner leur fonction dans le type de compréhension scientifique. L'image se trouve exclue de la structure de la théorie tout en conservant sa place dans l'intelligibilité des concepts et la référence de la théorie.

L'objectif de cet article est d'étudier le statut des images et leur rapport au langage dans la théorie physique. On partira des analyses de Pierre Duhem sur la structure de la théorie, et de ses réflexions sur les représentations imaginaires dans la physique du XIX^{ème} siècle. Il est vrai que Duhem avait d'une part élucidé l'opposition entre le sens d'une théorie physique et les explications d'ordre métaphysique, mais il avait pu d'autre part discerner un rapport entre le besoin de compréhension et les représentations concrètes des objets de la théorie.

La deuxième partie nous donnera l'occasion de comparer cette conception avec les issues théoriques de la révolution quantique et ses conséquences sur la signification des images, sur l'intuition spatio-temporelle et sur la représentation de la réalité en physique.

La troisième partie est consacrée à une étude sur la compréhension scientifique dans son rapport avec la nature de l'image et la figuration de l'objet. On reprendra les réflexions de Merleau-Ponty sur les antinomies de la perception pour comprendre comment elles s'incarnent dans les théories physiques au 20^{ème} siècle, ce qui nous amènera au paradoxe de l'image en physique. En conclusion, on proposera de compléter la conception de Duhem de la structure et de l'objet de la théorie en distinguant un plan imaginaire en deçà des formes symboliques et des procédures de vérification.

La théorie physique et sa référence chez Pierre Duhem

Le projet de Duhem dans son livre consiste à élucider l'essence d'une théorie physique, la première partie est consacrée à la recherche de l'objet de la théorie. Duhem se pose

alors la question suivante : la théorie a-t-elle pour objet l'explication d'un ensemble de lois expérimentales ?

Il essaie alors de préciser le sens du mot "explication" :

« Expliquer, *explicare*, c'est dépouiller la *réalité* des *apparences* qui l'enveloppent comme des voiles, afin de voir cette réalité nue et face à face. »<1>

En physique, elle se traduit par cette exigence de dépasser les observations et les lois expérimentales pour accéder à une réalité plus fondamentale qui les explique à son tour et les rend intelligibles. Cette intelligibilité a la force d'une évidence qui doit forcer la conviction.

Un exemple parmi d'autres est donné par l'optique ondulatoire. Des phénomènes observés par le sens de la vue, on déduit des abstractions comme la couleur simple ou complexe, l'intensité, l'éclat, etc. Les lois expérimentales de l'Optique établissent des rapports fixes entre ces notions abstraites et générales, comme la loi qui « relie l'intensité de la lumière jaune réfléchi par une lame mince à l'épaisseur de cette lame et à l'angle d'incidence des rayons qui l'éclairent »<2>.

La théorie vibratoire de la lumière fournit une explication de ces lois phénoménales. Elle suppose tous les corps plongés dans un *éther* invisible et impondérable. La lumière observée provient d'une petite vibration transversale de cet éther, la fréquence et l'amplitude de cette vibration caractérise la couleur de cette lumière et son éclat.

Mais -- Duhem le remarque -- il ne s'agit là que d'une *explication hypothétique*, la réalité de cette onde reste éloignée de nos sens et inaccessible. La théorie prétend que les observations se produisent *comme si* la réalité est telle qu'elle affirme. L'évidence recherchée derrière les sens et l'observation est de l'ordre du possible, du conjectural.

(1) Pierre Duhem, *La théorie physique : son objet, sa structure*, texte en ligne, disponible sur www.ac-nancy-metz/enseign/philos.fr, p. 6.

(2) Duhem, *Ibid.*, p.7.

Si tel est l'objet d'une théorie physique, alors elle doit l'atteindre en écartant les apparences sensibles pour saisir la réalité matérielle qui les explique. Pour Duhem, il va de soi que la connaissance de cette réalité supposée distincte des phénomènes est transcendante à la méthode expérimentale, « elle est objet de Métaphysique ». Par conséquent si l'objet de la théorie physique est l'explication des lois expérimentales, alors elle sera subordonnée à la Métaphysique.

Et c'est là où les problèmes commencent, car le domaine de la Métaphysique est le champ des conflits sans fins des différentes Ecoles philosophiques, et la théorie physique risque d'être minée par les oppositions violentes de ces Ecoles.

Duhem présente l'exemple des différentes théories du magnétisme. Dans l'Ecole péripatéticienne, d'après la *Métaphysique* d'Aristote, on considère que la nature réelle d'un corps est constituée d'une matière permanente et d'une forme variable. L'action d'un aimant sur un morceau de fer s'explique par l'altération de la forme du fer qui correspond à l'apparition de deux pôles distincts. C'est une telle théorie qu'avait élaborée Nicolas Cabeo dans sa *Philosophie magnétique*.

Dans la Philosophie naturelle construite par Boscovich, on ne conçoit pas la réalité suivant le rapport entre la forme et la matière. En effet, la substance matérielle se décompose en un nombre immense de points sans étendue ni figure, mais doués de masses, entre lesquels s'exercent des actions attractives ou répulsives. Cette action est proportionnelle au produit des masses des deux points et à une fonction de la distance qui les sépare. A partir d'une certaine distance entre les points, cette force se réduit à la gravité universelle étudiée par Newton. La disposition réciproque de ces points rend compte de tous les phénomènes physiques. Les effets magnétiques s'expliquent alors par les actions mutuelles entre les fluides austral et boréal. <3>

(3) Duhem, *Ibid.*, p. 10.

Duhem développe ensuite les descriptions de la réalité physique fournie par l'Ecole de Descartes et l'école atomistique. Il en conclut par les divergences irréductibles des diverses explications qui empêchent la théorie à s'assurer un consentement universel.

Dans sa critique de la fondation métaphysique de la physique, Duhem présente un autre argument plus décisif. Si la théorie physique est subordonnée à une Métaphysique, alors on doit pouvoir en tirer tous les éléments de la théorie. Or cette tâche demeure impossible pour deux raisons. Tout d'abord Duhem observe que les conceptions métaphysiques des Ecoles se construisent essentiellement sur la base des négations :

« Les Péripatéticiens, comme les Cartésiens, nient la possibilité d'un espace vide ; les Newtoniens rejettent toute qualité qui ne se réduit pas à une force exercée entre points matériels ; les Atomistes et les Cartésiens nient toute actions à distance, etc. » <4>

De sorte qu'il n'en reste que de minces et stériles arguments pour déduire les principes d'une théorie physique.

L'exemple de Descartes est révélateur. Dans sa philosophie, Dieu est parfait et immuable. De cette immuabilité, il tire cette conséquence : Dieu maintient invariable dans le monde la *quantité de mouvement* qu'il lui a donnée au commencement. Mais ce concept est encore vague, il faut lui donner une expression algébrique et quantitative plus précise. Selon Descartes, la quantité de mouvement d'une particule matérielle sera le produit de sa masse par sa vitesse. Mais Duhem observe que cette expression est encore arbitraire, car d'autres expressions sont possibles, comme celle que Leibniz nommera *force vive* qui s'écrit comme le produit de la masse par le carré de la vitesse. Ainsi la loi de la dynamique cartésienne s'accorde avec sa Métaphysique, mais elle n'en est pas une conséquence nécessaire. Autrement dit, les principes de la philosophie n'arrivent pas à expliquer les principes de la science qu'ils sont censés subsumer.

(4) Duhem, Ibid., p. 14

En conclusion, un système métaphysique ne peut être à la base d'une théorie physique et la fonder, celle-ci fait toujours appel à des concepts (prépositions) que le système n'a pas fournis :

« Toujours, au fond des explications qu'elle prétend donner, gît l'inexpliqué ».

L'objet de la théorie physique et l'économie intellectuelle

Après avoir montré que l'objet de la théorie physique ne peut se trouver dans le champ de la Métaphysique, que toute explication hypothétique risque de ruiner la théorie dans des discordes spéculatives, Duhem propose sa propre définition de la théorie physique :

« Une théorie physique n'est pas une explication. C'est un système de propositions mathématiques, déduites d'un petit nombre de principes, qui ont pour but de représenter aussi simplement, aussi complètement et aussi exactement que possible, un ensemble de lois expérimentales »

Ainsi, la théorie est constituée d'une structure mathématique, celle-ci doit représenter un objet précis : les lois expérimentales de la physique, i.e. les lois phénoménologiques observées au laboratoire.

Duhem précise ensuite les opérations constitutives d'une théorie : 1° la définition et la mesure des grandeurs physiques 2° le choix des hypothèses 3° le développement mathématique de la théorie et finalement 4° la comparaison de la théorie avec l'expérience qui permet de la corroborer.

En ce qui concerne la première opération, l'auteur note que la représentation se construit par des symboles mathématiques, ces symboles n'ont pas de relation de nature avec les propriétés qu'ils représentent : « ils ont seulement avec elles une relation de signe à chose signifiée ; par les méthodes de mesure, on peut faire correspondre à chaque état d'une propriété physique une valeur du symbole représentatif et inversement » <5>.

(5) Duhem, Ibid., p. 16.

On ne poursuivra pas l'étude de ses opérations que l'auteur renvoie à la deuxième partie du livre, ce qui l'intéresse ensuite c'est l'utilité de la théorie comme une économie de la pensée. En effet, cette structure théorique présente un intérêt pratique, elle permet de condenser une foule de lois en un petit nombre de principes. L'auteur se réfère à Ernst Mach qui considère que cette économie intellectuelle est le principe directeur de la science.

En substituant la loi aux faits concrets, on arrive à condenser les lois expérimentales en théorie. En Optique, les différentes lois comme la réfraction simple, la réfraction double, la réflexion sur des milieux isotropes, les interférences, la diffraction, la polarisation par réflexion,...sont regroupés sous l'égide des principes mathématiques simples, de ces principes on peut toujours tirer la loi dont on souhaite faire usage.

Ainsi le progrès des sciences physiques crée un mouvement de condensation des acquis : les lois expérimentales découvertes par les expérimentateurs seront l'objet des structurations progressives qui conduiront la science vers une plus belle et admirable unité. Elle ressemble alors à une *classification naturelle* : l'esprit analyse d'abord un nombre important de faits particuliers et concrets, et ce qu'il voit de commun en eux, il le résume en *loi* : C'est une abstraction à partir des faits réels. Ensuite il contemple tout un ensemble de lois ; à cet ensemble, il substitue un petit nombre de jugements généraux qui seront des idées très abstraites. Il forme un système d'hypothèses avec des conséquences qui en découlent ; la théorie physique est construite ainsi comme une œuvre d'abstractions, de généralisations et de déductions. Pour Duhem, la théorie ne peut donner une explication des lois expérimentales, i.e. dévoiler des réalités cachées derrière les phénomènes, mais il lui semble difficile de croire que l'ordre logique de ses abstractions ne correspondent pas à une réalité de la nature.

« Plus elle (la théorie physique) se perfectionne, plus nous pressentons que l'ordre logique dans lequel elle range les lois expérimentales est le reflet d'un ordre ontologique ; ...plus nous devinons qu'elle tend à être une classification naturelle. » <6>.

(6) Duhem, Ibid., p. 22.

On aurait pu penser qu'après ces pages de développement sur l'objet de la théorie physique, on commencerait l'analyse de sa structure annoncée au début de l'ouvrage. Mais à partir du chapitre III et jusqu'à la deuxième partie livre, Duhem présente une longue analyse des théories abstraites en physique et de leurs références aux modèles mécaniques. Comme s'il avait saisi qu'à part l'objet (lois expérimentales) et la structure (symbolisme mathématique), un autre registre pouvait compter dans la constitution d'une théorie physique.

L'imagination des physiciens et les modèles mécaniques

Une partie importante du premier livre est donc consacrée à distinguer deux caractères d'esprit chez les physiciens : l'amplitude de l'imagination et la rigidité de l'abstraction. En fait, après son analyse du fondement de la théorie, Duhem constate que sa conception de la formation de celle-ci par généralisation et abstraction n'est pas, en tout point, conforme à la pratique des théoriciens.

Chez un certain nombre de savants, en particulier dans l'Ecole anglaise, on ne se satisfait pas d'une construction abstraite et logique de la théorie, mais on imagine encore des objets de référence que l'on construit artificiellement sous forme de modèles mécaniques. Aux yeux des physiciens anglais, ces objets ne reflètent pas toujours une réalité, mais ils constituent une référence qui permet la compréhension des concepts. Un exemple célèbre est trouvé chez William Thomson. Pour ce savant – la plus haute expression du génie scientifique anglais, d'après Duhem – il est indispensable d'illustrer les propositions d'une théorie afin de l'appréhender :

« Mon objet est de montrer comment on peut, en chacune des catégories de phénomènes physiques que nous avons à considérer, et quels que soient ces phénomènes, construire un modèle mécanique qui remplisse les conditions requises. Lorsque nous considérons les phénomènes d'élasticité des solides, nous éprouvons le besoin de présenter un modèle de ces phénomènes. Si à un autre moment, nous avons à considérer les vibrations de la lumière, il nous faut un modèle de l'action qui se manifeste en ces effets. » <7>.

(7) W. Thomson, *Lectures on molecular dynamics, and the wave theory of light*, cité par Duhem, op. cit. p. 58

Ce type de représentation constitue une condition d'intelligibilité de la théorie physique :

150

« Je ne suis jamais satisfait, tant que je n'ai pas pu construire un modèle mécanique de l'objet que j'étudie ; si je puis faire un modèle mécanique, je comprends ; tant que je ne puis faire un modèle mécanique, je ne comprends pas ; c'est pourquoi je ne comprends pas la théorie électromagnétique de la lumière. » <8>

Ainsi, pour l'école Anglaise, le mot comprendre implique la référence à un modèle mécanique qui imite le phénomène physique :

« Comprendre la nature des choses matérielles, ce sera imaginer un mécanisme dont le jeu représentera, simulera les propriétés des corps » <9>.

C'est l'imagination qui représente un objet (artefact) qui fera office de référent à la théorie.

Cette approche théorique est propre à un courant d'esprit selon Duhem. Elle exprime la prévalence de l'imagination sur la raison et la logique de l'abstraction. Contrairement aux *esprits abstraits* <10>, les *esprits imaginatifs* ont une forte aptitude pour se représenter un ensemble compliqué d'objets disparates, c'est-à-dire une vue précise et minutieuse des détails et de leurs places dans l'ensemble. Cette puissante faculté imaginative ne favorise pas leur aptitude d'abstraction et de généralisation et elle crée surtout un penchant vers une théorie à références multiples plutôt qu'une structure logique et symbolique.

A propos des modèles concrets et mécaniques, l'auteur précise qu'ils ne sont pas déduits de l'abstraction métaphysique : « ce sont des corps concrets, semblables à ceux qui nous entourent, solides ou liquides, rigides ou flexibles, fluides ou visqueux ». Duhem note qu'il s'agit là bien de mécaniques destinées à être vues par l'imagination <11>.

(8) W. Thomson, *ibid.*, cité par Duhem, p.58.

(9) *Ibid.*, p. 58

(10) Duhem retrouve cet esprit en particulier dans la science continentale, chez les physiciens français, allemand, hollandais, mais aussi à l'origine de la physique moderne chez Newton.(11) *Ibid.* p. 61.

Par exemple, Navier et Poisson avaient formulé une théorie de l'élasticité des corps cristallisés, 18 coefficients différents caractérisant chacun de ces corps. W. Thomson a entrepris d'illustrer cette théorie avec un modèle mécanique : « Huit boules rigides, placées aux huit sommets d'un parallélépipède, et reliées les unes aux autres par un nombre suffisant de ressorts à boudins, composent le modèle proposé ». Cette référence imaginaire et concrète n'amène pas pour autant un gain d'intelligibilité pour la théorie.

« Bien que la constitution moléculaire des solides qui a été supposée dans ces remarques, et qui a été illustrée mécaniquement dans notre modèle, *ne doive pas être regardée comme vraie en nature*, néanmoins la construction d'un modèle mécanique de ce genre est certainement très instructive » <12>.

Plus loin, Duhem présente des modèles par lesquels Thomson a essayé de figurer les diverses propriétés de l'éther ou des molécules pondérables, ainsi que ceux inventés par Maxwell pour imaginer les actions électriques. Avec cette collection d'engins et de mécanismes, ces auteurs n'ont pas cherché une quelconque explication de la constitution de la matière. Les mécanismes proposés pour représenter l'éther ou les molécules pondérables sont « des modèles grossiers », ils sont « mécaniquement non naturels, (*unnatural mechanically*.) » <13>.

A défaut d'explication, ce besoin de compréhension qui s'appuie sur un registre imaginaire engendre une diversité de références, si bien que la théorie aura du mal à conserver une unité logique. Les différentes parties se développent isolément et se recouvrent, ce qui produit un manque d'unité globale et un problème de structure.

(12) W. Thomson, op. cit., cité par Duhem, p.61.

(13) Duhem, Ibid. p. 68.

A l'opposé de William Thomson, Duhem repère l'esprit abstrait chez Newton dans son célèbre ouvrage sur la Mécanique céleste: *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

« L'étude attentive des phénomènes et de leurs lois permet au physicien de découvrir, par la méthode inductive qui lui est propre, quelques principes très généraux d'où toutes les lois expérimentales se puissent déduire ; ainsi les lois de tous les phénomènes célestes se trouvent condensées dans le principe de la gravité universelle »<14>.

Cette représentation condensée n'est pas une explication pour Newton. L'attraction gravitationnelle entre deux parties quelconques de la matière permet de formaliser tous les mouvements célestes, mais l'analyse de la cause de cette attraction est écartée de la théorie car elle semble relever d'une qualité première voire une cause occulte. Comme il le précise dans l'*Optique*, la méthode consiste à tirer des phénomènes deux ou trois principes généraux de mouvement, on explique ensuite toutes les propriétés et les actions des corps au moyen de ces principes clairs <15>. Aucun besoin de construire des référents mécaniques pour illustrer les principes théoriques.

Un autre exemple est celui de Heinrich Hertz. Prenant ses distances avec l'esprit imaginaire de l'école anglaise, Hertz déclare qu'à ses yeux la théorie de Maxwell n'est rien d'autre que le système des équations de Maxwell (l'électromagnétisme). Hertz avait adopté les équations de Maxwell sans examen des définitions et des hypothèses d'où elles pouvaient dériver. Cette manière de procéder consiste à tirer (déduire) les équations mathématiques d'un ensemble de principes confirmés par les observations expérimentales. Pour Duhem, l'approche algébriste et symbolique ne s'appuie pas sur la représentation d'objets concrets ou des construits du laboratoire.

L'objet et le référent de la théorie physique.

On a pu constater dans cette étude comment Duhem a élaboré une conception de la théorie qui la sépare de toute visée explicative et métaphysique. Elle doit se restreindre

(14) Newton, *Optique*, XXXI^e question. Cité par Duhem, *Ibid.*, p. 39. Notons que Newton considère ces principes comme les propriétés des "corps", ces derniers étant les supports de ces lois. Nous y reviendrons.(15) Duhem, *Ibid.*, p. 46.

à une structure mathématique qui représente un objet, à savoir les lois expérimentales de la physique. Ceci dit, il remarque une tendance chez certains physiciens (en particulier dans l'école anglaise) à inventer des modèles mécaniques afin de représenter l'objet de la théorie. Il s'agit d'objets imaginés puis construits (ou pouvant être construits) matériellement au laboratoire.

Il déconstruit ces modèles en montrant l'incohérence qu'ils engendrent dans la structure logique de la théorie. Il n'empêche, ce sujet le préoccupe au point de lui consacrer la moitié du premier livre. Il étudie de près la motivation de ces physiciens qui inventent des modèles et des artefacts afin de répondre à une exigence d'intelligibilité. Cette analyse des différentes écoles conduit à penser que la dimension de l'objet en physique – malgré Duhem – apparaît comme l'articulation de deux registres : la loi prédictive des phénomènes et le référent comme support de ces lois.

Car il ne suffit pas de pointer la structure des lois expérimentales comme objet de la théorie, les "esprits imaginatifs" recherchent un référent imaginaire avec une certaine consistance, que l'on puisse illustrer et figurer. Ils poussent certes cette exigence au point de les matérialiser et en faire des modèles mécaniques. Duhem dénonce l'aboutissement de cette tendance, mais ne parle-t-il pas lui-même des corps comme référents d'une théorie ?

Il critique l'obstination des physiciens anglais à trouver des objets qui « tombent sous les sens, qui se touchent ou qui se voient » <16>. Ce type d'esprit a besoin du secours de la mémoire sensible, d'une évidence perceptive. Par opposition, le physicien français ou allemand (esprit abstrait) conçoit dans l'espace entre deux conducteurs « des lignes de force abstraites, sans épaisseur, sans existence réelle. ». Par le mot "existence réelle", l'auteur entend un correspondant sensible et concret du concept <17>, un signifié écarté par les esprits abstraits en physique.

(16) Il s'agirait donc d'un concept d'"existence" sans connotation ontologique.

(17) Par une intuition de géomètre suivant une approche représentative et non par une explication du mode de propagation de la lumière, cf. Duhem, op. cit. p. 31

Pour autant, ces lignes de force bien connues dans la physique du dix-neuvième siècle représentent une réalité pour les physiciens. Dans un grand nombre d'ouvrages de la physique classique, on attribue une réalité aux lignes de force (ou des champs), ainsi qu'aux ondes électromagnétiques.

Dans un autre passage, lorsque Duhem évoque la théorie de la réfraction de la lumière, il met en valeur l'évolution de sa structure, la conception de Huygens ne prenait pas en compte tous les cas possibles parmi les corps cristallisés, la catégorie des cristaux biaxes ne pouvait entrer dans ses cadres. Une restructuration purement mathématique^{<18>} réalisée par Fresnel a permis d'élargir les limites d'application de cette théorie. Cela étant, ces corps cristallisés sont aussi figurés par les physiciens, quelle valeur de réalité doit-on accorder à ce type de représentations ?

De façon générale, dans les ouvrages de la physique classique, les auteurs présentent la dimension expérimentale de la théorie non seulement par les lois observées au laboratoire mais souvent avec des entités (illustrées ou évoquées) qui seraient les supports de celles-ci. Ces entités comme les ondes, fluides, particules, etc. ne sont pas les modèles mécaniques que dénonçait Duhem, ils ne sont pas des corps sensibles (pouvant être directement vus ou touchés), ils sont imaginés par abstraction à partir des corps qui nous entourent. Duhem ne présente aucune analyse de ces entités et de leur représentation. Plus loin, lorsqu'il étudie le caractère provisoire des lois en physique -- du fait que les symboles ne peuvent représenter tous les cas observés -- il remarque que les schémas du réel sont toujours transitoires et incomplets^{<19>}. Il suppose néanmoins que le physicien tâche de représenter une entité réelle, comme l'exemple du gaz étudié par la mécanique des fluides, mais sa représentation est toujours déficiente et partielle.

(18) Duhem, op. cit., p. 141.

(19) C'est l'approche qui prédomine encore dans l'enseignement de cette discipline, un exemple parmi d'autres est le livre de Guy Aubert (ancien directeur de CNRS) sur l'électromagnétisme, à l'adresse des écoles préparatoires : G. Aubert, *électromagnétisme*, Dunod Université, 1971. Nous reviendrons plus loin sur cet exemple.

Il n'en demeure pas moins que Duhem suppose un réel (résidu de la métaphysique) derrière les représentations de la théorie, le physicien doit essayer de l'appréhender, même si cette tâche demeure sans fin et sujet à des révisions permanentes. Ainsi, malgré sa critique de la métaphysique, Duhem reste fidèle à une théorie de la représentation. C'est aussi la conception partagée par la physique classique qui a toujours tendance à illustrer la théorie avec des images et des figures représentant une réalité physique. Pour prendre l'exemple de l'électromagnétisme, la description de la structure mathématique se complète souvent par des représentations des corps électriques et des ondes et champs de forces électromagnétiques <20>.

En somme, ce que Duhem dénonce dans le recours de W. Thomson et des physiciens anglais aux modèles mécaniques se retrouve sous une forme plus abstraite -- représentation des entités – dans tout le corpus de la physique classique.

C'est l'avènement de la mécanique quantique qui amènera une rupture épistémologique avec la fonction de la représentation, les images ne pourront plus se référer à une réalité identifiable, elles vont perdre leur statut de symboles en physique pour constituer un registre imaginaire sous-jacente à la structure de la théorie.

La révolution quantique et la rupture avec la représentation des objets

Sur le plan historique, on distingue deux étapes dans l'émergence de la théorie quantique, la première théorie quantique (*Old quantum theory*) et la mécanique quantique proprement dite. Dans la première période qui commence avec les travaux de Max Planck, on a pu regrouper les découvertes, construire des modèles phénoménologiques (par exemple l'atome de Bohr), et les relier par des « principes de correspondance » à la physique classique. Ces découvertes ont surtout mis en évidence la faillite du principe de causalité appliqué à l'individu physique. Des causes identiques produisent des effets différents.

(20) Alexandre Kojève, *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne*, Librairie générale française (« Le livre de Poche »), 1990.

Donnons un exemple. Dans le problème de l'échange d'énergie entre la matière et le rayonnement, étudié par Planck, l'énergie d'un rayonnement de fréquence ν_0 et l'énergie E échangée est toujours égale à un multiple entier du quantum d'énergie $\xi = h \nu_0$ ($E = n \xi = n.h.\nu_0$). Sous cette forme, se manifeste déjà une rupture avec le postulat de continuité de toutes les actions et transformations physiques. En outre, le comportement des oscillateurs n'est pas conforme au principe du déterminisme causal approché. En effet, en soumettant un oscillateur de fréquence ν_0 à l'action d'une radiation de même fréquence ν_0 , on peut constater que l'énergie de l'oscillateur a augmenté de $\xi = h.\nu_0$, mais en employant une radiation de fréquence différente, $\nu = \nu_0 \pm \Delta\nu$, on n'obtiendra aucun résultat ; on peut donc constater que des causes extrêmement semblables et discernables, même à l'échelle microscopique (on peut supposer $\Delta\nu$ très petit), ont des effets nettement différents.

Les inégalités de Heisenberg

La deuxième grande période d'élaboration de la théorie quantique a surtout été marqué par la publication en 1927 du mémoire de Werner Heisenberg, contenant l'énoncé de ses fameuses relations d'« incertitude ». Comparé aux lois de la physique classique (et même relativiste), ce nouveau principe avait un caractère singulier. Pour la première fois, il ne s'agissait pas d'une loi concernant une réalité ou un objet (un système) « en soi », mais au contraire une limitation réciproque dans la mesure des grandeurs caractéristiques d'une entité physique, ce qui remettait en cause le *principe* d'une causalité exacte et individuelle. Cette place accordée au rôle de la mesure et de ses contraintes quant à la définition de l'objet et des grandeurs physiques a constitué l'apport le plus original de la physique quantique et a soulevé de sérieux débats à l'époque.

Heisenberg montrait qu'en partant de certaines lois de la théorie quantique on pouvait conclure qu'il était impossible, même en principe, de mesurer simultanément avec une précision absolue deux variables canoniques conjuguées, comme par exemple une coordonnée spatiale et le « moment » correspondant ($q = x$, et $p = m v_x$, ou le temps et l'énergie, etc.). Dès que la précision de la mesure d'une des grandeurs conjuguées

augmente, la précision de la mesure de l'autre diminue. Heisenberg démontrait la proposition suivante : si Δq est la dispersion de la mesure pour la grandeur q , et Δp la dispersion (et non l'erreur) de la mesure de la grandeur canoniquement conjuguée, le produit $\Delta q \Delta p$ n'est jamais inférieur à h : $\Delta q \Delta p \geq h$.

La première conséquence de ce principe général consistait à écarter définitivement le principe du déterminisme exact : on a constaté qu'il était expérimentalement invérifiable. Dans la conception « classique » de la physique (dominante jusqu'au début du XX^e siècle), on affirmait qu'il est en principe possible de prévoir exactement l'état d'un individu physique à l'instant t , quand on connaît exactement son état à l'instant t_0 et les lois du mouvement. Mais pour pouvoir déterminer l'état d'une entité physique, afin de prédire son état dans le futur, il faut reconnaître exactement la valeur d'au moins deux grandeurs canoniques conjuguées (mesurées simultanément pour qu'elles représentent le même état), par exemple la position et la vitesse. Or, c'est justement ce qu'interdit l'inégalité d'Heisenberg : si l'on veut reconnaître précisément la position, on aura alors une grande dispersion sur la mesure du quantité de mouvement et vice versa. On en déduit que, dans le contexte expérimental de la physique atomique, il est en principe impossible de faire des prévisions exactes. Autrement dit, même en supposant que l'on peut augmenter la précision des mesures à l'infini, on ne peut espérer appliquer un déterminisme exact à la mesure de l'état d'un individu physique. Encore plus grave, les inégalités de Heisenberg engendrent un problème de référence et une crise du réalisme en physique. A strictement parler et de façon générale, la physique ne peut plus déterminer les individus et les représenter dans son langage. Nous allons examiner ce problème en rapport avec la signification de la mesure en physique.

Le phénomène quantique et le problème de la mesure

En 1928, Niels Bohr proposait une interprétation plus épistémologique des relations de Heisenberg. D'après Bohr, ces phénomènes d'imprécision sont l'expression d'un principe plus général selon lequel aucune observation physique n'est possible sans que l'état du système ne soit modifié par le fait même de l'observation.

Historiquement, cette formulation de Bohr a produit un changement d'optique dans la conception du rapport entre l'objet théorique et le contexte expérimental ; mais elle comportait une ambiguïté essentielle dans la mesure où elle réintroduisait subrepticement le principe de causalité de la physique classique. Commençons par l'analyse de ce point de vue de Bohr, le fondateur (avec Heisenberg) de l'école de Copenhague. Nous suivrons l'analyse philosophique de Kojève qui éclaire les conceptions de l'époque, nous précisons aussi les problèmes inhérents à ces conceptions <21>.

Comme Kojève l'explique, les physiciens pensaient toujours que les expériences qu'ils faisaient pour déterminer l'état d'une entité physique modifiaient en général cet état. Par exemple, on pouvait montrer que le thermomètre changeait la température de l'eau à mesurer. Les expérimentateurs imaginaient donc diverses astuces pour atténuer les perturbations produites par les instruments de mesure. Mais, dans la mesure où la physique classique se référait à des objets macroscopiques et pensait que les perturbations pouvaient être « théoriquement » négligées (par des méthodes d'extrapolation, etc.), on sous-estimait donc la réalité du contexte expérimental. Dans le cadre de la physique atomique, ces perturbations ne pouvaient plus être négligées et l'énoncé suivant lequel « l'observation modifie l'observé » prenait une signification théorique déterminante.

Nous avons vu que le principe de Heisenberg consistait à établir les limites de l'imprécision minima intrinsèque à toute observation de l'état momentané d'une entité physique – l'imprécision signifie ici la non-précision sur la prévisibilité d'une valeur, et non pas l'imprécision de la valeur elle-même. Cette imprécision rend en principe impossibles les prévisions exactes des grandeurs canoniques conjuguées.

(21) Duhem faisait aussi recours à un argument quasi-réaliste lorsqu'il étudiait la nature provisoire des lois en physique, cet attribut provenait (pensait-il) du caractère imparfait et déficient de la représentation de l'entité réelle ou de l'objet en soi. cf. p. 8.

Dans l'interprétation épistémologique de Niels Bohr, ce principe se traduit par le concept d'« indivisibilité du phénomène quantique ». Bohr entendait par là qu'en physique atomique il était devenu impossible de tracer une ligne nette entre l'objet et l'appareil de mesure, ce qui correspondait selon lui à une inséparabilité entre le système observé et le système observant. Il y a certes une part de vérité dans cette idée selon laquelle on ne peut pas (rigoureusement) distinguer le système d'observation et l'objet à connaître, on n'arrivera pas à les définir séparément. Mais la justification proposée par Bohr, à savoir que ce trait essentiel s'explique par l'idée d'une perturbation produite par l'instrument sur l'objet mesuré, fait problème.

C'est également dans cette optique que Heisenberg avait présenté une preuve « classiciste » de ses relations de dispersion. Dans son expérience imaginaire, lorsqu'on effectue des mesures de position q d'un électron avec un microscope, on envoie un photon à sa rencontre, le retour du photon est ensuite capté par l'enregistreur. Mais le choc entre le photon et l'électron va modifier le mouvement de ce dernier, ce qui produira fatalement une imprécision sur la mesure de la quantité de mouvement p . Ainsi, d'après Heisenberg, qui s'appuie sur des représentations corpusculaires et réalistes des objets physiques <22>, c'est la perturbation (incontrôlable) provoquée par l'instrument sur l'objet qui est à l'origine des dispersions des mesures, et de l'incompatibilité dans la détermination des variables conjuguées. Cependant, ce type d'explication se heurte à l'une des conséquences majeures des relations de dispersion. En effet, les inégalités de Heisenberg posent un problème de référence et d'ontologie pour la théorie physique. La position réaliste devient problématique et difficile à tenir. L'école de Copenhague avait soulevé la question, mais ne l'avait pas approfondie jusqu'à ses dernières implications. La conception de Bohr sur l'inséparabilité entre le système observant et le système observé l'avait bien amené à cette conclusion que, dans la physique, le savant ne se trouvait pas face à un monde en soi, et que la science ne « découvre » pas les propriétés d'une réalité intrinsèque.

(22) Cette exclusion des contextes de mesure est constaté dans la fameuse expérience des deux fentes de Young, pour un exposé clair de cette expérience, cf. Roger Penrose, *L'esprit, l'ordinateur et les lois de la physique*, Paris, 1992, p. 249.

Regardons de plus près le rapport entre le principe de Heisenberg et la question de l'identité des *individus* (ou système) en physique. On a vu que si l'on procède à une mesure précise de la grandeur q sur une certaine entité, on obtient une dispersion importante pour la mesure de p . Dans le contexte expérimental, cette contrainte se traduit par une incompatibilité dans la mesure de ces grandeurs ; *les arrangements instrumentaux nécessaires pour la mesure de ces variables s'excluent mutuellement* <23>. Or, un individu ou un système physique était classiquement défini par le couple (p, q) . Cette incompatibilité des contextes expérimentaux implique que ces grandeurs ne doivent plus être associées pour définir une entité (leur association demeure purement conventionnelle). En d'autres termes, rien ne nous dit qu'après une mesure de q , la mesure de p se réfère au même état physique, ou à la même particule.

Ainsi, lorsque la notion même d'entité individuelle (particule en physique atomique) perd sa raison d'être, il n'y a plus aucune raison (sauf pour des nécessités pragmatiques <24>) d'accorder à une grandeur mesurée la qualité d'attribut d'un quelconque substrat (ou chose). La référence du langage scientifique à une réalité conçue comme une entité (à représenter) est rompue et la physique se trouve face à un problème de métaphysique.

Pour ce qui est de la mesure en physique, elle ne correspond plus à une observation au sens strict (de quelque chose) : la nouvelle signification de la mesure se retrouve dans un processus où l'on provoque l'observation <25> qui détecte des données dans une pure présentation ; autrement dit, le résultat de la mesure n'a pas de correspondant dans le réel.

(23) Bohr soutenait l'idée que les physiciens atomistes utilisent le mot « particule » uniquement pour les besoins de communication des résultats d'expérience, celle-ci s'effectue dans le langage ordinaire.

(24) Michel Bitbol, *Mécanique quantique. Une introduction philosophique*. Champs Flammarion, 1996, p.258.

(25) Maria Giulia Dondero, "L'image scientifique : de la visualisation à la mathématisation et retour", in *Nouveaux actes sémiotiques* en ligne, 2009.

Dans ces conditions, il n'est plus justifié d'imaginer un système observé opposé à un système observant, pour évoquer ensuite une relation d'inséparabilité mutuelle, ou de perturbation du premier par le second. Le concept de « non-séparabilité » de Bohr ne possède qu'une vertu introductive au problème de la description en physique quantique. Par contre, la notion d'indivisibilité (ainsi que l'irréversibilité) résiste à la critique. Il faudrait plutôt comprendre de non-séparabilité dans le sens d'une négativité : avant l'acte de mesure, il est pertinent de distinguer entre un instrument de mesure et une réalité extérieure, tandis que lors de *l'opération de mesure*, toute séparation ou division entre le couple observé-observant devient impossible. L'acte de mesure s'identifie à un processus indivisible, irréversible et orienté, où tout retour vers l'état initial est condamné (i.e. la réduction du paquet d'onde). Ce qui signifie aussi que tout effort d'explication des inégalités de Heisenberg à partir des schémas de perturbation (quantum d'action h échangé dans l'interaction entre les deux systèmes selon Bohr) devient inopérant.

Dans son analyse minutieuse des implications épistémologiques de la mécanique quantique, Michel Bitbol nous montre que celles-ci ne sont pas tributaires des questions d'échelle et qu'elles sont donc généralisables pour toute théorie physique. En conséquence, l'image perd sa fonction de représentation et son rôle devient ambigu et sujet de nouvelles réflexions. Nous allons voir comment les recherches sémiotiques récentes sur l'image confirment ces conclusions dans un domaine plus « classiques » à savoir l'astrophysique.

L'analyse sémiotique de l'image en astrophysique

Les recherches sémiotiques sur la problématique de l'image scientifique ont permis ces dernières années d'éclaircir des aspects importants de la visualisation des objets en physique. Ces travaux convergent vers un point essentiel : l'image n'est pas donnée mais construite via un ensemble complexe de pratiques et de formalisations mathématiques.

Prenons l'analyse d'un cas exemplaire par Maria Giulia Dondero, celui de l'iconographie des trous noirs par l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet <26>. Le trou noir est un objet qui est par définition invisible car tout ce qui s'en approche y disparaît, un rayon lumineux est complètement absorbé. Par ailleurs c'est un objet dont l'existence est supposée à partir d'autres phénomènes cosmologiques auxquels on cherche des explications. Dans l'article cité<27> l'auteur montre que l'iconographie de Luminet se présente globalement comme rien d'autre qu'un produit des connaissances en relativité générale sur la topologie cosmologique : elle n'est que le résultat d'une série d'équations<28>. « Luminet construit tout au long d'une dizaine de pages ce qu'on pourrait nommer un véritable parcours d'"iconographisation" à travers une série d'expériences ». Pour cela il recourt à « la spatialisation géométrique qui a l'avantage de visualiser les manières dont les différents éléments et valeurs se structurent et s'organisent ensemble dans un espace qui constitue une *totalité* ».

L'astuce de Luminet consiste à concevoir comment un trou noir peut réagir à un éclairage artificiel donné, projeté par une source lointaine. Le formalisme mathématique permet, à partir d'une position d'observation donnée, de calculer l'angle de déflexion et de concevoir visuellement (ou voir virtuellement) les contours d'un trou noir sphérique. L'image sera ainsi construite sur une photo où on voit un centre noir avec des bords éclairés. L'auteur souligne : « On s'aperçoit que ce sont les équations qui donnent des instructions en vue d'un déploiement spatial qui se concrétise dans des dispositifs qu'on peut appeler, pour le moment, génériquement, images. »

Autrement dit, le texte décrit « la traduction d'un certain nombre d'équations en des dispositifs spatiaux qui mettent en scène les conséquences observationnelles de certains faits mathématiques construits par les équations elles-mêmes ».

(26) L'article de Luminet datant de 1979 intitulé "Image of a Spherical Black Hole with thin Accretion Disk", dans la revue *Astronomy and Astrophysics*.

(27) Dondero, *Ibid.*, p. 6.

(28) *Ibid.*, p. 7

L'auteur conclut plus loin que la photo présentée par l'astrophysicien montre non pas le trou noir en soi, mais les démarches qui nous permettent de le constituer en fait et de le visualiser en tant qu'objet (à savoir l'acte d'éclairage et l'acte d'observation contrôlés par des paramètres mathématiques). En d'autres termes, l'observation n'a rien en commun avec la photographie (ou la peinture) qui met en relation une image et un objet identifiable. L'image possède une telle complexité de constructions que le rapport à son référent disparaît entre les filets des signifiants mathématiques et des pratiques expérimentales de simulation. Il n'en reste en somme qu'une visée intentionnelle théorique.

Selon l'auteur qui résume bien les conditions de l'expérience :

« (L'image nous propose) une exemplification de ce qui est censé être un trou noir, à savoir un système de forces plus ou moins en équilibre, qu'on ne peut étudier, comme tout phénomène physique, qu'à partir d'un acte provocateur (éclairage/exposition) et ensuite par la visualisations des réactions à cette provocation. Ce dispositif est constitutif de la structure minimale de l'expérience en laboratoire, l'expérience en laboratoire étant notamment une question de stimulations paramétrées et de récolte/enregistrement/traitement des résultats de ces stimulations » <29>.

Ainsi, on retrouve la même structure d'expérience que dans la physique atomique qui nous avait conduit au concept d'indivisibilité quantique. D'ailleurs, l'auteur précise que l'image même, si elle est douée une structure d'invariance qui fonde son objectivité, n'exprime « rien d'autre qu'une confrontation de forces et de positions énonciatives calculées et fictives ». Cette analyse a permis d'examiner le rapport entre l'image et son référent dans les trois domaines de la physique classique (avec Duhem), la physique quantique et l'astrophysique contemporaine, et elle aboutit à une conclusion épistémologique déterminée. Nous avons constaté chez Duhem que l'objet de la théorie se détachait de tout rapport à la métaphysique et qu'il se privait ainsi de toute vertu explicative. Ceci dit, Duhem concevait encore un lien métaphysique entre l'objet et un réel en soi, ou entre l'image (d'une entité physique) et une réalité à représenter.

(29) Le mot symbole chez Duhem s'entend bien à la lettre comme étant le symbole de quelque chose, ce qui donne finalement à la théorie physique (et ce malgré les prudences de l'auteur) une nature représentative.

Ce rapport attribuait alors une nature toujours imparfaite aux lois symboliques<30> de la physique. La révolution quantique vers le début du XX^{ème} siècle produisait dans ce sens un changement majeur, puisque l'image n'était plus censée représenter une quelconque entité individuelle identifiable, et le phénomène quantique se caractérisait par sa nature indivisible et irréversible, non séparable de son contexte expérimental d'enregistrement et de mesure. L'astrophysique actuelle confirme cette coupure radicale avec le réalisme de la représentation : l'image de l'objet ne s'obtient que par un processus complexe de constructions mathématiques et expérimentales, via un protocole d'observation qui n'est rien d'autre qu'une "observation" provoquée.

Cette rupture avec le réalisme de la représentation laisse une question en suspens : Si l'image ne renvoie à aucune réalité extrinsèque, quel rôle joue-t-elle dans la pratique de la science ? Car, nous l'avons remarqué, les physiciens n'hésitent pas à présenter leurs théories avec des illustrations d'entités, de corps, de forces, de champs d'espace, etc. Pour répondre partiellement à cette question, nous suivrons l'analyse d'un philosophe comme Wittgenstein qui a distingué la compréhension de la maîtrise d'une connaissance technique et scientifique.

L'image et la compréhension en physique

L'idée d'une différence entre l'opérativité de la connaissance et la compréhension en physique est suggérée (entre autres) par Michel Bitbol dans son deuxième ouvrage sur la mécanique quantique<31>. En général, on ne distinguait pas ces deux registres dans la physique classique<32>, mais avec l'avènement de la physique quantique, on s'est trouvé devant le problème de la compréhension du contenu de la théorie.

(30) Michel Bitbol, *L'aveuglante proximité du réel*, Champs Flammarion, 1998.

(31) Ceci dit, Duhem nous a donné un bel exemple dans son analyse de l'imagination dans la physique anglaise où des physiciens comme Thomson distinguaient la nature des concepts théoriques et leur besoin de comprendre par des images, cf. p.

(32) Cité par M. Gell-Mann, cf. Bitbol, op. cit., p. 274.

Plus précisément, les physiciens ont constaté l'écart entre la signification et la structure mathématique de la théorie.

Le physicien M. Gell-Mann dépeint la situation à partir d'une définition désabusée :

« La mécanique quantique, cette discipline mystérieuse et troublante, qu'aucun d'entre nous ne comprend réellement mais que nous savons comment utiliser » <33>.

Il s'agit de mettre en parallèle la maîtrise opératoire et technique de la théorie avec une incompréhension chronique du contenu. Savoir utiliser une théorie pour prédire des événements n'est pas le signe de sa compréhension. Or, ce constat semble s'opposer à une conception de Wittgenstein résumée dans le célèbre aphorisme : « la signification d'un mot, c'est son usage dans la langue ». Selon Wittgenstein, semble-t-il, la compréhension ne se dissocie pas de la pratique du langage, comprendre un mot c'est d'abord savoir l'utiliser dans nombre de circonstances réelles ou possibles. Il convient donc de mieux analyser la conception de Wittgenstein pour savoir ensuite si on peut la transposer à la pratique de la physique.

Or, comme M. Bitbol le montre dans un examen plus approfondi, dans sa seconde philosophie Wittgenstein décrit la compréhension au-delà des critères d'opérativité, il la conçoit en relation avec une forme de vie.

« S'il veut savoir ce que c'est que le mot "comprendre", l'interprète ne saurait se contenter d'aligner des critères et d'apprécier des symptômes en clinicien détaché, il doit avant tout s'immerger dans la pratique de la langue » <34>.

Dans les *Investigations philosophiques*, Wittgenstein précise sa pensée :

« Nous comprenons la signification d'un mot quand nous l'entendons ou le disons ; nous le saisissons en un éclair, et ce que nous saisissons de cette façon est sûrement quelque chose de différent de l'"usage" qui est étendu dans le temps » <35>.

(33) 33 - M. Bitbol, op. cit., p. 276.

(34) L. Wittgenstein, *Philosophische Untersuchungen*, § 138, cité par M. Bitbol.

(35) cf. M. Bitbol, op. cit., p. 277.

Il ne s'agit pas chez l'auteur d'une conception surréaliste où on saisit le sens en un éclair comme le jaillissement d'une étincelle. Il souligne tout d'abord que du point de vue d'un locuteur, la compréhension d'un mot ne s'identifie ni à son utilisation correcte dans le passé ni à un énoncé explicite des règles d'usage. Pour le second Wittgenstein, comprendre un discours ou un texte, c'est pouvoir s'insérer dans des formes de vie qui s'accordent avec lui, comme "vivre dans les pages d'un livre". Autrement dit, comprendre un mot ou une phrase ne se réduit pas à une compétence vue de l'extérieur, i.e. la conformité à une règle d'usage. On constate une distance entre la compréhension de l'acteur et l'opérativité des règles d'action.

Cette situation a son équivalent en physique où pour un profane (vue de l'extérieur), la capacité du physicien à prédire des événements exprime son degré de compréhension ; pourtant beaucoup de physiciens avouent ne pas comprendre la règle (le formalisme prédictif de la mécanique quantique) tout en maîtrisant ses applications techniques.

Cette différence entre comprendre et appliquer des règles s'éclaire davantage dans la célèbre expérience de pensée suggérée par J. Searle^{<36>}. C'est l'expérience de la « chambre chinoise ». M. Bitbol le résume ainsi : « Un sujet français est placé à l'intérieur d'une chambre qui ne contient que deux objets : un écran où s'affichent des idéogrammes chinois et un manuel édictant en français un ensemble de règles d'usage des idéogrammes ; Le manuel... comporte une suite d'instructions spécifiant quelles chaînes de caractères sont admises en "sortie", si telle chaîne de caractères est proposée en "entrée". Le jeu consiste alors pour le sujet à "répondre" aux suites de caractères qui s'inscrivent sur son écran en suivant rigoureusement les indications de son manuel. Résultat : vues de l'extérieur, par un locuteur chinois, les "réponses" fournies par le sujet sont parfaitement conformes aux critères d'une excellente "compréhension" de la langue chinoise. Or, remarque Searle, si on interroge le sujet français, il affirmera n'avoir strictement rien compris aux phrases chinoises qui s'inscrivent sur l'écran ».

(36) cf. M.Bitbol, *ibid.*, p. 278.

Cette expérience conduit à une seule conclusion. « On ne sait pas dire ce qu'est la compréhension par-delà ses critères extrinsèques, mais on peut parfaitement dire à nouveau ce qu'elle n'est pas. Elle n'est pas la seule manipulation correcte des règles d'utilisation »<37>. La compréhension véritable d'une langue étrangère n'est pas acquise lorsqu'un auditeur manipule encore explicitement des règles de traduction, elle se manifeste par leur *disparition*<38>. M. Bitbol cite ce commentaire éclairant de Hofstadter et Dennet sur la pensée de Searle : « ...assez rapidement les sons de la seconde langue ne sont plus entendues – on entend à travers eux plutôt qu'on ne les entend, comme on voit à travers la fenêtre plutôt qu'on voit la fenêtre ». Le recours à cette expérience de pensée précise mieux la conclusion de l'auteur. La compréhension ne s'identifie pas à une saisie directe du sens mais à un processus qui équivaut à une *transparence* des règles et de ce fait, transporte le sujet dans un "monde" au-delà des règles. On comprend un texte lorsqu'on n'est plus conscient des lois grammaticales et syntaxiques utilisées dans la lecture, et qu'on se laisse ainsi porté par le texte vers un monde imaginaire ou révolu. Par analogie, Bitbol le remarque, on *comprend* une théorie physique lorsqu'une interprétation tient la structure mathématique pour un simple moyen de passer au-delà d'elle, un moyen intégré dans le regard du physicien qui se fixe sur « un monde reconnaissable par lui comme une variante plausible du cadre de ses formes de vie, de ses gestes, de ses actes de dénomination et de prédication des choses nommées » <39>. La structure de la théorie sert de tremplin pour l'ouverture vers une "réalité" dont la théorie est censée représenter. Par opposition, on ne *comprend* pas une théorie physique lorsqu'on ne peut pas passer sans encombre au-delà de sa structure mathématique, quand elle ne laisse pas représenter une réalité identifiable. C'est particulièrement le cas de la physique quantique dans la mesure où la structure mathématique exprime l'indivisibilité entre le phénomène et son contexte expérimental de mesure.

(37) C'est comme pour un savoir-faire, il est acquis lorsque le sujet dépasse la phase d'apprentissage et ne pense plus aux règles qu'il utilise, lorsqu'il a pu les intégrer dans son corps propre. Cf. Polanyi, *Personal Knowledge*, University of Chicago Press, 1974, p. 49.

(38) M. Bitbol, op. cit. p. 280. (39) cf. Jacques Morizot, *Qu'est-ce qu'une image ?*, Vrin, Chemins philosophiques, 2009., p. 35.

Arrivé à ce point, nous pouvons mieux préciser le statut de l'image en physique. Elle constitue un moyen idéal pour réaliser cette transparence des règles car elle vise et présente un objet qui semble indépendant de son contexte d'émergence.

L'image possède une caractéristique essentielle, elle permet de "voir-dans" <40>. Elle s'ouvre comme une fenêtre sur l'objet, le sujet projette son regard directement sur l'objet, comparable (par extension ou déformation) à son corps. Il se produit une *satisfaction de l'esprit* qui est la marque de la compréhension.

L'évolution de la physique à partir des révolutions quantiques et relativistes a rendu problématique toute représentation de la réalité. L'intérêt de l'image est de court-circuiter la définition mathématique de l'objet et son lien indissociable avec le contexte expérimental. La physique contemporaine n'a plus cette prétention théorique et épistémologique de représenter une réalité indépendante et métaphysique, Duhem nous le montrait déjà dans son analyse de la physique classique. Il n'en demeure pas moins que les ouvrages de cette science font encore largement référence aux images, souvent sans aucune précaution philosophique <41>. En physique atomique, en désarticulant les circonstances d'emploi de la mécanique quantique, on donne encore une représentation partielle de la réalité en termes d'ondes, de particules, de champs, accompagnés souvent des images d'entités identifiables, conformes à notre perception du monde. Malgré la rupture radicale avec la représentation spatio-temporelle, une tendance se dessine dans la pratique d'enseignement et de recherche, comme un retour incessant vers un sol d'évidence, vers une explication de nature métaphysique.

40 - Dans l'ouvrage déjà cité de Guy Aubert, *électromagnétisme*, Dunod, 1971, l'auteur présente l'électromagnétisme comme « l'étude des phénomènes qui font intervenir la propriété "charge électrique" des particules ». L'existence de ces entités va de soi. Il commence d'ailleurs son texte par un énoncé réaliste sur « l'univers constitué d'un nombre fabuleux sinon infini de particules élémentaires ». Notons que dans sa brève introduction, Louis Néel (prix Nobel 1970) nuance la teneur ontologique du texte en utilisant le concept de modèle, mais l'auteur ne semble pas tenir à ce type de prudence. L'ouvrage abonde des schémas de particules, forces, champs, conducteurs, censés donner un ancrage réel à la théorie. Par ailleurs, le concept de modèle est de nature symbolique, il ne peut traduire la transparence (i.e. le rapport direct à l'objet) produite par l'image.

41 - La possibilité de comparer l'image à l'objet est étudiée par Morizot dans la peinture à partir d'une remarque de Wittgenstein : « Quel est le critère de l'expérience visuelle ? (...) la représentation de "ce qui est vu". » cf. J.Morizot, op. cit. p. 35.

L'image incarne ce retour à l'origine qui crée localement un mirage, un trompe-l'œil qui donne à voir, vision illusoire d'un réel censé garantir et soutenir la vérité de la théorie. Car, contrairement à la peinture et à la photographie, en sciences physiques nous ne pouvons prendre le recul nécessaire pour comparer l'image à l'objet et évaluer ensuite le degré de pertinence de l'image<42>. A chaque fois l'image (ou le phénomène observé et représenté) se réfère à une autre image et le réel se retire *ad infinitum*.

Il nous reste à éclaircir cette tension entre la conception structurale et contextuelle de l'objet et une intelligibilité encore tributaire des images du monde d'une science classique.

Merleau-Ponty et les dilemmes de la perception

Dans *Le Visible et l'invisible*, consacré à une refonte des concepts de la philosophie moderne, Merleau-Ponty a souligné la contradiction entre les conséquences épistémologiques de la physique du vingtième siècle et le maintien d'une ontologie traditionnelle. Le livre commence par une réflexion sur la perception, plus exactement sur une évidence originaire que l'auteur qualifie par "la foi perceptive". Nous voyons le monde et le monde est cela que nous voyons ; mais cette foi à l'évidence du monde n'est pas explicitable en énoncé ou thèse, « Ce que Saint Augustin disait du temps : qu'il est familier à chacun, mais qu'aucun de nous ne peut l'expliquer aux autres, il faut le dire du monde ». <43> Merleau-Ponty développe ensuite ses arguments pour montrer les dilemmes et les difficultés rencontrées dès qu'on tente d'objectiver cette foi perceptive. La perception n'est pas le vécu d'une représentation, j'ai la chose même dans la perception, elle est au bout de mon regard. Ceci dit, cette vision est *la mienne*, je vois la table devant moi que si elle est dans le rayon d'action de mes yeux et de mon corps, comme si ma vision s'effectuait à partir d'un point du monde situé sur mon corps.

(42) *Le visible et l'invisible*, M. Merleau-Ponty, Tel Gallimard, 1964, p.17.

(43) Merleau-Ponty, *ibid.*, p. 21.

« A chaque battement de mes cils, un rideau s'abaisse et se relève, sans que je pense à l'instant à imputer aux choses mêmes cet éclipse ; à chaque mouvement de mes yeux qui balayent l'espace devant moi, les choses subissent une brève torsion que je mets aussi à mon compte » <44>.

Merleau-Ponty analyse ensuite la différence entre des visions binoculaires et monoculaires. L'idée est qu'une perception binoculaire n'est pas constituée par la synthèse de deux visions monoculaires. Les images monoculaires sont des esquisses, des résidus de la vraie vision, « elles s'évanouissent quand nous passons à la vision normale et rentrent dans la chose comme dans leur vérité de plein jour...elles ne peuvent être comparées à la perception synergique : on ne peut les mettre côte à côte » <45>. La perception est donc une totalité qui dépasse ses conditions ou parties, elles n'existent que sur son seuil et prêtes à se perdre en elle.

On a là une première expression de la contradiction : « l'homme pense à *la fois* que sa perception entre dans les choses et qu'elle se fait en deçà de son corps ». La conscience du corps écarte l'illusion d'une coïncidence entre la perception et la chose même. Le problème est qu'au moment où la perception agit, « il (le corps) s'efface devant elle et jamais elle ne le saisit en train de percevoir » <46>. Un exemple significatif est celui de la main gauche touchant la main droite, au moment où la droite veut saisir le travail de la gauche en train de toucher : cette sensation disparaît pour ne laisser qu'une perception de la main droite touchée. En d'autres termes, « cette réflexion du corps sur lui-même avorte toujours au dernier moment, (...) mais cet échec n'enlève pas toute vérité à ce pressentiment que j'avais de pouvoir me toucher touchant ».

Ainsi, le corps par son arrangement interne, ses circuits sensori-moteurs, etc. prépare la perception mais on ne le voit jamais à l'œuvre, son action disparaît devant l'évidence de la chose perçue. Les deux convictions s'affrontent et s'annulent.

(44) Merleau-Ponty, *ibid.*, p. 22.

(45) *ibid.*, p. 24.

(46) *ibid.*, p. 25

Ce paradoxe s'amplifie lorsque nous considérons le rapport entre ma perception et la perception des autres.

« S'il n'y a peut-être pour moi aucun sens à dire que ma perception et la chose qu'elle vise sont "dans ma tête" (il est seulement certain qu'elles ne sont "*pas ailleurs*"), je ne puis m'empêcher de mettre autrui, et la perception qu'il a, derrière son corps. Plus précisément, la chose perçue par autrui se dédouble : il y a *celle qu'il perçoit* Dieu sait où, et il y a celle que je vois, moi, hors de son corps, et que j'appelle la chose vraie, -- comme il appelle chose vraie la table *qu'il voit* et renvoie aux apparences celle que je vois. » <47>

En bref, chacun de nous a son monde privé, ces mondes privés ne sont pas le monde. Nos perceptions ne nous dévoilent pas ce monde unique, ils sont les variantes de ce monde commun. En tout cas, cette certitude d'existence d'un monde commun est obscure, elle est vécue mais elle ne peut être pensée ou formulée. Toute explicitation nous ramène aux dilemmes. Cette certitude injustifiable d'un monde sensible et commun est pour nous l'assise de la vérité. Edmond Husserl qui avait développé toute une doctrine de l'évidence avant Merleau-Ponty précisait dans *Expérience et jugement* :

« Nous pouvons dire (...) que toute activité de connaissance a toujours pour sol universel un monde ; et cela désigne en premier lieu un sol de croyance passive universelle en l'être, qui est présupposé par toute opération de connaissance » <48>.

L'imaginaire et la visée du réel

Pour Merleau-Ponty, ces antinomies de la perception ne sont pas propres au monde vécu, à un univers de l'immédiat qui serait sans vérité. La science les a intégrées dans son activité d'explication et de compréhension des phénomènes. Pour la physique classique, le vrai c'était l'*objectif*, que l'on a réussi à déterminer grâce à des opérations de mesure réalisées par des variables et des entités définies par la théorie.

(47) Cité par Fernando Gil, *Traité de l'évidence*, Million, 1993, p.15. Dans le sillage de Husserl, Fernando Gil a développé une théorie de la genèse de l'évidence, il note : « En deçà du jugement de prédication, il y a le jugement de l'expérience, sous-tendu par une foi primordiale en l'existence. Toute modalité de certitude mais aussi du doute, de la supputation, de la conjecture, renvoie au mode de la croyance "certaine", à une foi ultime et matricielle ». op. cit., p. 15.

(48) Merleau-Ponty, op.cit., p. 32.

Pendant les deux siècles où elle poursuivait sans relâche sa tâche d'objectivation, elle croyait suivre les articulations du monde et pensait que l'objet physique préexistait en soi à la science.

C'est l'ontologie du Grand Objet qui formait le préjugé préscientifique de cette longue période. Or, l'auteur observe que les concepts de la physique se peuvent s'appuyer sur une connaissance absolue, et les formules n'ont de significations que rapportées à des observateurs situés (cf. les révolutions de la physique au vingtième siècle). Or, autant la science s'est montrée <49> inventive dans sa pratique théorique, autant qu'elle s'est montrée conservatrice dans la théorie de la connaissance. Les avancées théoriques se sont traduites dans le langage de l'ontologie traditionnelle. Par exemple, les considérations d'échelle devraient nous éloigner des concepts de "sujet" et d' "objet" en soi, et nous conduire « à faire entrer dans la définition du "réel" le contact entre l'observateur et l'observé » <50>. Mais les physiciens ont cherché des subterfuges en trouvant dans la densité des faits microscopiques des arguments en faveur du déterminisme, des réalités "mentale" ou "acausale", etc.

De façon générale, Merleau-Ponty le remarque, les physiciens ont tenu le champ microphysique pour un champ macroscopique de très petites dimensions, et ils n'ont pas voulu assumer les conséquences épistémologiques des relations de Heisenberg. Ils considèrent les particules d'une durée de vie de l'ordre de milliardième de seconde comme un objet quotidien et observable qui existerait moins longtemps.

49 - *ibid.*, p. 33. Cette notion de "contact" entre deux termes séparés identifiés comme "observant" et "observé" soulève encore des difficultés comme nous l'avons vu précédemment.

50 - Dans son livre *L'esprit, l'ordinateur et les lois de la physique*, Roger Penrose définit les inégalités de Heisenberg comme "le principe d'incertitude", il présuppose la réalité des particules indépendantes du contexte expérimental et conçoit les dispersions de mesure comme l'expression d'un manque de précision dans la mesure des coordonnées d'une particule préexistante. *Op. cit.* p. 268.

Il s'agit donc d'une régression dans la perspective d'un objet en soi alors que les résultats théoriques nous en éloignent et nous conduisent à y renoncer.

Ce conservatisme intellectuel et cet attachement à l'ontologie classique -- chez Louis de Broglie et Eddington entre autres-- ont leur versant dans le champ de la psychologie. Merleau-Ponty continue son exploration par une critique de la psychologie des formes. Malgré des débuts prometteurs, la *Gestaltpsychologie* est restée dans le cadre d'une pensée des "causalités" élémentaires, et n'a pas pu intégrer les structurations hétérogènes et discontinues qui se réalisent dans le psychisme. Sur les deux versants, physique et psychique, on est resté dans le carcan d'un cartésianisme latent qui attribue une valeur d'être aux concepts de sujet et d'objet.

« Cette physique du physicien, cette psychologie du psychologue, annoncent que désormais, pour la science même, l'être-objet ne peut plus être l'être même : "objectif" et "subjectif" sont reconnus comme deux ordres construits hâtivement à l'intérieur d'une expérience totale dont il faudrait, en toute clarté, restituer le contexte »<51>.

Pour Merleau-Ponty, la science doit repenser sa démarche et reconnaître que l'ensemble des opérations de mesure se constitue à partir d'un monde vécu considéré comme une source de vérité universelle. La philosophie devrait également repenser les catégories fondamentales de "sujet" et d'"objet", pour sortir des apories entre le "mental" et le "matériel" ou l'"intérieur" et l'"extérieur" et aboutir à une révision de l'ontologie.

Tant qu'on reste dans le cadre des catégories traditionnelles du sujet et de l'objet - au lieu de rechercher leur genèse à partir d'un monde originaire (lui-même injustifiable et in formulable rappelons le) - on reproduira les apories de la perception et on sera surtout face à un imaginaire irréfléchi :

« L'imaginaire est (...) le cercle étroit des objets de pensée à demi pensés, des demi-objets ou fantômes qui n'ont nulle consistance, nul lieu propre, disparaissant au soleil de la pensée comme les vapeurs du matin et ne sont, entre la pensée et ce qu'elle pense, qu'une mince couche d'impensé. » <52>

(51) Merleau-Ponty, *ibid.*, p. 37. (52) *Ibid.*

Ces réflexions amènent Merleau-Ponty à une conception originale de l'imaginaire. C'est une couche formée d'objets de pensée (et nous dirons des images) fuyants et fictifs qui constituent un écran entre la pensée et le réel visé. Dans son entreprise philosophique, même si l'auteur pense pouvoir débarrasser la pensée de ce résidu de l'ontologie classique, il n'en demeure pas moins que cet imaginaire perdure dans la pratique de la science, car il répond en effet à un besoin de compréhension et ne semble pas disparaître face à la complexité structurelle et contextuelle des sciences physiques. Nous avons vu un exemple frappant dans l'analyse de l'école anglaise chez Duhem, comment W. Thomson inventait des objets mécaniques imaginaires pour sa propre compréhension tout en admettant leur nature fictive.

Pour conclure, revenons à Duhem et à son analyse de la théorie physique. Nous avons vu qu'il considérait la théorie physique comme le rapport entre une structure et son objet. La structure de la théorie est formée par un formalisme mathématique, son objet est constitué par un ensemble de lois expérimentales. Notre analyse a permis d'identifier un troisième plan en deçà de la structure théorique et des lois du laboratoire : *le registre imaginaire* de la science. Son origine se trouve dans la visée de l'évidence, une recherche de vérité qui est barrée par le caractère informulable du monde sensible commun. Pour autant, cette visée est satisfaite de manière fragmentaire par les images des entités physiques ; en effet, par la transparence illusoire qu'elle produit, l'image génère l'apparence d'une évidence première, et donne une satisfaction à la compréhension irréfléchie du physicien.