

Université de Montréal

La figure de l'atome

Paradigme de la vulgarisation scientifique

Hugo L. Casanova

Département de communication

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des arts et des sciences en vue de l'obtention du grade de

M.Sc. en Sciences de la communication option Communication médiatique

Novembre, 2011

© Hugo L. Casanova, 2011

Université de Montréal

Faculté des arts et des sciences

Ce mémoire intitulé :

La figure de l'atome, paradigme de la vulgarisation scientifique

présenté par :

HUGO L. CASANOVA

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

PROF. LORNA HEATON

Directrice de recherche

PROF. THIERRY BARDINI

Président du jury

PROF. JULIANNE PIDDUCK

Membre du jury

RÉSUMÉ

Un cadre d'analyse des figures utilisées dans la vulgarisation de la connaissance scientifique est développé suivant la sémiotique de Charles S. Peirce et la méthode archéologique de Michel Foucault. Ce cadre est appliqué spécifiquement à l'analyse de figures de l'atome recensées systématiquement dans deux revues de science populaires. Des recommandations découlant de notre analyse sont faites.

Mots clés : Charles S. Peirce, Michel Foucault, vulgarisation, figure, atome, communication visuelle, représentation, paradigme, sémiotique

SUMMARY

An analytical framework for the study of images used in the popularization of scientific knowledge is developed from the semiotics of Charles S. Peirce and the archeological method of Michel Foucault. This framework is applied specifically to figures of the atom found in a systematic study of two popular science magazines. Recommendations emerging from our analysis are offered.

Keywords: Charles S. Peirce, Michel Foucault, popularization, figure, atom, visual communications, representation, paradigm, semiotic

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 1. Introduction	1
Chapitre 2. Revue de littérature	18
Chapitre 3. Réflexions Archéo-sémiotiques	29
Chapitre 4. Les figures de l'atome	64
Chapitre 5. Rencontres d'univers	87
Bibliographie	98

LISTE DES FIGURES

Figure A: Schéma de la communication du signe	67
Figure B: Exemple de direprésentation	73
Figure C: Autre exemple de direprésentation	73
Figure D: Exemple de trireprésentation	75
Figure E: Autre exemple de trireprésentation	75
Figure F: Exemple de tétrareprésentation	76
Figure G: Exemple de représentation thématique	78
Figure H: Autre exemple de représentation thématique	78
Figure I: Atome planétaire	80
Figure J: Cinq orbitales combinées	81
Figure K: Collision d'un proton et d'un antiproton	82
Figure L: Illustration de protons et de neutrons (extrait)	83
Figure M: Énoncé des limites de la figure	86
Figure N: Courbure de l'espace-temps	97



CHAPITRE I

INTRODUCTION

Plongés dans ses œuvres, ils scrutent et ils cèdent alors
à l'apparence, car il est beau le spectacle du monde!
Sagesse 13.7 (TOB)

“and what is the use of a book,”
thought Alice, “without pictures or conversations?”
Lewis Carroll
Alice's Adventures in Wonderland, 1906

Le monde nous apparaît initialement comme une source incohérente de données à l'état brut. L'une des tâches de la science consiste à organiser ces données en structures d'information mesurables qui nous permettent d'en tirer de la connaissance. Les chercheurs inventent des modèles représentant les aspects du monde qu'ils veulent investiguer et comprendre. Ces modèles, habituellement développés mathématiquement en physique, se manifestent souvent visuellement sous forme d'illustrations, d'images de microscopie, d'électroencéphalogrammes, de graphiques en nuage de points, de cartes, etc. La recherche entreprise ici portera de manière générale sur la culture visuelle issue de la production du savoir. Plus spécifiquement, nous évaluerons *le rôle des figures dans la diffusion des théories scientifiques et de la connaissance et leur influence sur la réception de ce savoir.*

Une théorie scientifique peut être conçue comme un ensemble cohérent d'énoncés abstraits décrivant ou expliquant un certain nombre de phénomènes concrets et observés. La description et l'explication

offertes par la théorie permettent de construire des modèles du système dans lequel se trouve le phénomène donné. Les modèles théoriques servent donc à représenter, souvent par analogie, les objets présents dans le phénomène et leurs relations. Outre une description des éléments du phénomène, le modèle permet de prédire le comportement du système qu'il représente. Nous pouvons concevoir le modèle comme une représentation dynamique des objets du phénomène et de leur structure. En tant que représentation, il peut servir à manipuler des objets d'un phénomène autrement inaccessibles. Dans certains cas, le modèle se trouve lui-même représenté : sous forme de figure.

Le modèle constitue un diagramme de notre compréhension d'un phénomène, il représente les éléments et leurs relations. Donc, le modèle lui-même est issue d'une création originale de l'esprit d'un individu. Mais, les prédictions et les résultats de la recherche proviennent essentiellement de la manipulation de modèles. Nous ne désirons pas entrer dans le débat sur l'objectivité dans la pratique de la science¹, mais nous voulons mettre en lumière l'influence du sujet dans l'acquisition de la connaissance par la méthode scientifique ainsi que la nature incertaine des modèles qui la fondent. Nous suivons Paul Teller (2001) qui soutient que, «in principle, anything can be a model, and that what makes a thing a model is the fact that it is regarded or used as a representation of something by the model users.» (p. 397) Par contre, d'une part, il semble que dans le discours scientifique les modèles se présentent de manière générale sous la forme d'énoncés langagiers et de formules mathématiques. D'autre part et au contraire, dans le contexte moins formel des publications de vulgarisation scientifique, nous retrouvons plutôt des illustrations reprenant graphiquement les objets et les relations composant les modèles et les théories. La figure imprimée indique visuellement

1 Pour une discussion du débat sur l'objectivité en science, voir Daston et Galison, 2007.

la structure du modèle qui, pour sa part, représente conceptuellement le phénomène tel que décrit par la théorie. L'objectif des créateurs de cette figure du modèle est de révéler la nature et le comportement du monde comme la science les conçoit. Leur approche se veut intuitive et persuasive. Nous nous concentrerons sur ces représentations de deuxième ordre ou figures de modèle.

La figure scientifique est un outil de communication de la connaissance formidable, parfois essentiel. Elle est d'autant plus fascinante dans le contexte de la communication publique, ou populaire, de la science : la vulgarisation. Pour l'effort de vulgarisation du savoir technique, la figure constitue une forme d'expression qui permet d'éviter le langage expérimental et les formules mathématiques.

Comme l'indique David Knight :

... we live in a strongly visual age, and in popularisation illustration has during the second half of the twentieth century become more and more striking. In an age of specialisms, we also all depend upon vulgarisation, though at different levels; the visual has never been unimportant, or a second best to algebra, but it is now as important as ever. (2006, p. 75)

La représentation graphique n'offre pas la précision des formules mathématiques, et sa création requiert souvent d'opérer des réductions et des contorsions du modèle original,² mais elle permet de rendre compte rapidement et de manière intuitive de la mécanique d'un phénomène.

Le savoir scientifique, surtout en physique, est principalement élaboré mathématiquement. Afin de diffuser ce savoir au public il s'avère souvent utile de transposer les opérateurs, les constantes et les variables pour des couleurs, des points et des traits. Nous entendons par public *le groupe des gens qui ne peuvent pas facilement percevoir la finesse algébrique ou théorique de la construction du monde spécifique à une sphère du savoir*. Pour les scientifiques à l'extérieur de leur domaine de recherche autant que pour les amateurs, ce sont les figures qui servent principalement de véhicule – de médium – à la

² Voir à ce sujet (Lynch et Woolgar, 1990).

communication de la connaissance. Les personnes confrontées à ces figures les interprètent avec leur bagage de connaissance individuel. Les experts, scientifiques, reconnaissent le modèle et les éléments qui le constituent en rapport à leur connaissance de la théorie d'où il provient. Par contre, les autres personnes interprètent habituellement la figure comme un outil didactique. Ces personnes composent le public, elles confrontent la figure à leurs expériences personnelles.

Le public « is not only ourselves but also, sometimes, not us; it includes, sometimes, the scientists who do science, and the institutions of science, and also the people who work in the media, and the media institutions. » (Gregory et Miller, 1998, p. 97) Il y a donc autant de publics qu'il y a de caractères pouvant servir à catégoriser des groupes de personnes : « there is no one 'public' after all » (Knight, 2006, p. 2). Pour nous, le public n'est pas composé de personnes ignorantes comme dans certaines perspectives,³ il est composé de personnes n'ayant pas la connaissance nécessaire à l'analyse conceptuelle de modèles théoriques spécifiques représentés par des figures populaires. La même personne peut être une experte d'un domaine et un membre du public d'un autre domaine.

Ceci étant dit, pour deux raisons, nous ne voulons pas réduire l'étendue de notre conception du public à un groupe particulier. D'abord parce que la sélection d'un public aurait orienté notre travail vers une solution applicable à ce public spécifiquement; nous cherchons plutôt une théorisation générale du problème. Ensuite, parce que nous n'entreprenons pas de discuter du public lui-même. Nous élaborons et appliquons une méthode d'analyse des figures populaires de modèles scientifiques. Ces figures traduisent le savoir scientifique afin de le diffuser hors du domaine d'où il est originaire. Mais notre discussion demeure restreinte aux figures, elle ne s'étend pas à leur réception par le ou les publics. *Nous posons l'hypothèse qu'il y a un rapport intime entre la réception du savoir scientifique et la*

3 Par exemple, le modèle déficitaire.

diffusion des représentations visuelles de ces connaissances. Mais notre méthode sémiotique ne permet que d'étudier ce rapport à partir de la figure et de ses caractéristiques de façon indépendante du public auquel elle s'adresse. La seule qualité commune à tous les membres du public, selon notre conception élargie, est son incapacité à percer tout le mystère de l'analogie codée dans la figure. Notre analyse démontre que les figures ne contiennent pas en elles-mêmes le matériel significatif nécessaire à la communication complète de ce qu'elles sont créées pour communiquer : les modèles scientifiques. Ainsi, il nous semble que, contrairement aux experts qui sont suffisamment outillés pour interpréter correctement la nature des figures par leur compréhension des modèles d'où elles proviennent, le public ne possède pas le bagage nécessaire à cette interprétation. Un des objectifs de ce mémoire est d'exposer une des causes possibles, identifiable dans la figure elle-même, de cette insuffisance.

LA FIGURE DE L'ATOME

La théorie atomique de Ernest Rutherford offre un excellent exemple du type de modèle dont nous discutons. Deux étudiants travaillant avec Rutherford – Hans Geiger et Ernest Marsden – ont fait l'expérience suivante en 1909. Ils ont projeté des particules α (ions d'hélium chargés positivement) vers une feuille d'or matelassée de manière à avoir une épaisseur de seulement quelques atomes.⁴ Ils ont ensuite mesuré l'angle de déviation des particules α traversant la feuille d'or. Ils ont découvert que, bien que la majorité des particules passaient à travers la feuille, certaines étaient déviées plus ou moins. Ils ont même constaté, à leur grande surprise, qu'une petite quantité de particules semblaient rebondir dans la direction d'où elles étaient projetées.

Afin d'expliquer ce phénomène expérimental, Rutherford a élaboré une théorie de la structure de l'atome. Selon lui, la seule façon d'expliquer les résultats était que les atomes de la feuille d'or

4 Les détails mécaniques et fonctionnels de l'expérience ne sont pas nécessaires à la compréhension de l'exemple.

comportaient un élément central d'un volume minuscule possédant une masse beaucoup plus importante que le reste de l'atome.⁵ Finalement, Rutherford décrivait l'atome comme une sphère ayant ce qu'il nomma un noyau massif à charge positive entouré d'électrons à charge négative gravitant autour de ce noyau. Les particules α qui revenaient vers leur source avaient rencontré le noyau massif d'un atome d'or; celles qui arrivaient de l'autre côté traversaient simplement le vaste espace vide entre les noyaux. Cette théorie sert à expliquer le phénomène observé lors de l'expérience de Geiger et Marsden. Elle met en évidence une structure possible de l'atome. Cette structure constitue le modèle atomique dit de Rutherford.

En termes de connaissances scientifiques, le cas de l'atome est particulièrement intéressant puisque la figure qui est généralement utilisée pour en communiquer la structure à l'extérieur des domaines de la recherche nous vient justement de la théorie atomique de Rutherford. Cette figure semble jouer le rôle de représentation standard de l'atome. Selon Kevin Kelly, l'atome est l'icône de la science du 20^e siècle :

The popular symbol of the Atom is stark: a black dot encircled by the hairline orbits of several other dots. The Atom whirls alone, the epitome of singleness. It is the metaphor for individuality: atomic. It is the irreducible seat of strength. The Atom stands for power and knowledge and certainty. It is as dependable as a circle, as regular as round.

The image of the planetary Atom is printed on toys and on baseball caps. The swirling Atom works its way into corporate logos and government seals. It appears on the back of cereal boxes, in school books, and stars in TV commercials.

The internal circles of the Atom mirror the cosmos, at once a law-abiding nucleus of energy, and at the same time the concentric heavenly spheres spinning in the galaxy. In the center is the animus, the It, the life force, holding all to their appropriate whirling stations. The symbolic

5 Un exemple dans les mots exacts de Rutherford: «In order to form some idea of the forces required to deflect an α particle through a large angle, consider an atom containing a positive charge Ne at its centre, and surrounded by a distribution of negative electricity Ne uniformly distributed within a sphere of radius R .» (1911 §2) Rutherford poursuit avec des formules mathématiques évaluant les propriétés du noyau selon les angles de déviation observés des particules α .

Atoms' sure orbits and definite interstices represent the understanding of the universe made known. The Atom conveys the naked power of simplicity. (1994, p. 25)

La simplicité de l'organisation des éléments – symétrie, circularité, point central, points en orbite, unité, etc. – offre une représentation d'une élégance et d'une complétude remarquables. Les qualités esthétiques de l'image en font un symbole percutant et reconnaissable. Les théories plus récentes de la structure atomique et leurs modèles ne sont pas aussi facilement représentables graphiquement, malgré qu'elles procurent des descriptions plus exactes de la matière microscopique. Rutherford a publié son modèle en 1911. Celui-ci a rapidement été adapté à la nouvelle théorie quantique de Niels Bohr, présentée initialement en 1913.⁶

Suivirent une vague de publications et de discussions concernant la structure atomique entre les plus grands physiciens occidentaux de la première moitié du 20^e siècle : Rutherford, Bohr, Einstein, Schrödinger, Heisenberg, de Broglie, etc. La structure et le comportement de l'atome, qui étaient clairs, élégants et familiers dans la description de Rutherford, s'avèrent plus vagues, indéterminés et surtout indéterminables. Il semble qu'un principe fondamental nous empêche de mesurer au même moment la position et la vitesse d'une particule en mouvement. Il s'agit du principe d'incertitude de Heisenberg, qui est un des fondements de la mécanique quantique. L'atome, tel qu'il est connu aujourd'hui des scientifiques, est un phénomène complexe, difficile à représenter graphiquement. Le passage suivant d'une conférence de Bohr, relaté par Werner Heisenberg, démontre bien la complexité fondamentale de représenter la structure de l'atome quantique :

6 La figure étudiée ici est souvent appelé modèle Rutherford-Bohr parce que les électrons en mouvements elliptiques nous viennent de Bohr. Rutherford n'a insisté que sur la présence du noyau, sans préciser l'organisation des électrons. Bohr a de plus découvert que les électrons en mouvement se trouvent sur des ellipses bien précises et qu'ils sautent d'un orbite à l'autre comme par magie sous l'effet de l'énergie : le fameux saut quantique. Ces niveaux quantiques ne sont pas représentés par la figure typique de l'atome. Celle-ci constitue donc un hybride non complet des théories de Rutherford et de Bohr.

À cause de la stabilité de la matière, la physique newtonienne ne peut pas être correcte à l'intérieur de l'atome ; tout au plus peut-elle fournir un point de départ. Et, pour la même raison, il ne peut pas y avoir de description visuelle de la structure de l'atome, car une telle description — parce que visuelle, précisément — devrait se servir des concepts de la physique classique, concepts qui ne permettent plus de saisir les phénomènes. (1972, p. 64)

En d'autres termes :

... elementary particles are not objects in anything like the ordinary sense of that word. They do not have bulk and weight in the usual sense, so they can't cast shadows or reflect highlights. Particles and atoms aren't even "things" in Heidegger's sense, of "forms" in Aristotle's, or "substances" in Spinoza's: so far, their only conceptual armature comes from the mathematics itself, aided by a battalion of wobbly metaphors. (Elkins, 2008, p. 156)

La structure de l'atome des scientifiques a une nature probabiliste. Ses éléments ne peuvent pas vraiment être décrits sans l'aide de l'abstraction mathématique et d'une bonne dose de théories statistiques et d'autres théories physiques.⁷ Ces caractéristiques font de l'atome un objet très difficile à vulgariser.

Or, il nous semble, d'une part, que la figure de l'atome telle que décrite par le modèle de la structure atomique de Rutherford est devenue la représentation standard de l'atome dans les médias. D'autre part, il ne nous semble pas que cette représentation soit la meilleure représentation possible de l'atome, ni la plus simple, ni la plus exacte. Donc, comme il existe d'autres figures de l'atome, toutes aussi valables que celle-ci nous semble-t-il, comment pouvons-nous expliquer l'omniprésence de l'atome de Rutherford dans les publications populaires ? Y a-t-il certaines propriétés de la figure ou du médium qui expliqueraient la pertinence particulière de cette représentation ? La manière dont la figure est présentée – couleurs, structure, contexte – offre-t-elle un cadre spécifique qui donnerait avantage à l'atome de Rutherford ? Existe-t-il un argument esthétique, philosophique, psychologique,

7 Nous nous limitons à l'interprétation courante de la mécanique quantique, celle développée par Bohr et Heisenberg, dite de Copenhague. Il existe des interprétations plus déterministes, par exemple : la théorie des mondes multiples d'Everett et la théorie de l'onde pilote de De Broglie-Bohm.

social ou culturel qui supporterait la sélection d'une représentation de l'atome plus qu'une autre ? En somme, nous cherchons à élucider, à travers le prétexte de l'atome, *quelles sont les qualités sémiotiques des figures de la science risquant d'influencer leur pouvoir de communication de la connaissance entre les domaines de la science et ses publics.*

NOTES SUR LE VOCABULAIRE

L'usage que nous faisons des termes techniques de la philosophie et des études de la communication se limite à notre spécification de leur signification et ne doit pas s'étendre au-delà de notre application particulière. Il nous semble pertinent de clarifier d'emblée les bornes de certains termes qui serviront de bases à notre propos.

Tout d'abord, nous emploierons principalement le terme OBJET dans le contexte de la sémiotique peircéenne où le concept d'objet a un rôle spécifique dans le processus de la sémiose. Ce rôle, nous le clarifierons plus loin. Par contre, lorsque nous utilisons ce terme hors d'un cadre spécifiquement sémiotique, il doit être entendu au sens le plus large possible. Dans cet usage, un objet peut être un phénomène naturel, une idée, un artéfact, ou toute chose discrète, particulière ou générale.

Nous entendons le terme REPRÉSENTATION au sens large comme un objet tenu pour un autre objet.

Suivant notre application élargie de l'objet, la représentation dénote autant une image, une figure, une œuvre d'art, une métaphore, une pensée, une mémoire, une hypothèse, un mot ou une théorie.

Le terme IMAGE sera considérablement réduit afin d'éviter les étalements conséquents à l'ambiguïté de son sens. Elle signifie pour nous une représentation abstraite. Nous n'utilisons ce terme que dans un sens technique que nous exposerons plus loin. Nous réservons donc le terme FIGURE, que nous

élargissons quelque peu, pour signifier les objets physiques observables⁸ participants à une représentation. Pour distinguer les deux concepts prenons par exemple la peinture *La Gioconda* de Leonardo da Vinci. Sa figure est ce que l'on observe lorsque la lumière ambiante est substantielle : la couleur, les formes, le visage, les mains, le paysage, le pigment, la planche de peuplier. D'autre part, nous pouvons dire de cette œuvre qu'elle constitue l'image du portrait, l'image de la renaissance italienne, l'image de la vertu féminine, l'image du talent de da Vinci, etc. Ainsi l'image de la science est la conception générale de ce que la science représente, en tant qu'institution, méthode ou concept. Les figures de la science sont les graphiques, les photographies, les diagrammes issues de la recherche ou servant à communiquer les résultats ou les concepts scientifiques.

FONDEMENTS

Notre projet se veut pragmatique. Nous cherchons à décrire les caractéristiques des figures issues de la science qui influencent l'établissement de leur signification et des notions qu'elles permettent de déterminer dans l'esprit des membres du public.⁹ Nous voulons donc mettre en lumière les caractéristiques apparentes de ces figures afin de noter les rapports possibles entre elles et les objets théoriques qu'elles représentent. Nous proposons d'abord un cadre théorique permettant de répondre au manque d'outils formels d'analyse des figures issues de la science. Ce cadre doit offrir deux choses : des outils sémiotiques pertinents, ainsi qu'un schéma socio-communicationnel à travers lequel nous pouvons discuter de la fonction des figures selon leurs caractères significatifs. Premièrement, la sémiotique de Peirce est utilisée pour décrire les qualités significatives des figures recensées. Deuxièmement, notre propre expression théorique du cadre introduit par Foucault à travers la

8 Avec tous les sens.

9 Entendu selon la description donnée plus haut.

logique pragmatique de Peirce sert de base pour illustrer le contexte dans lequel les figures communiquent. Ensuite, nous offrons une application spécifique de notre nouvelle théorie à la figure de l'atome dans les revues scientifiques populaires. Nous recensons les figures d'atome dans deux revues de vulgarisation. Nous contribuons ainsi à la recherche sur la vulgarisation et sur la communication scientifique, mais d'un point de vue épistémologique. Nous désirons fournir une méthode et un cadre permettant aux chercheurs d'analyser la valeur communicative des figures issues de la science.

Comme toute recherche du même genre, notre contribution ne peut pas prétendre apporter une réponse définitive à la question de la diffusion du savoir. Nous désirons donc introduire d'emblée une distinction proposée par Peirce qui permet de situer plus spécifiquement l'effet escompter par notre entreprise de recherche. Peirce distingue deux qualités d'objectifs que les penseurs doivent chercher à atteindre : la sécurité et l'uberté.¹⁰ Dans ses mots :

I think logicians should have two principal aims: 1st, to bring out the amount and kind of security (approach to certainty) of each kind of reasoning, and 2nd, to bring out the possible and esperable uberty, or value in productiveness, of each kind. (CP 8.384-388, "A Letter to F. A. Woods", 1913)

Il y a donc, pour Peirce, deux avenues justifiant l'investigation.

La SÉCURITÉ est la qualité d'une recherche qui approche la connaissance vers la certitude, qui aligne notre conception vers un plus grand niveau de conformité avec la réalité. Les résultats d'une méthode d'analyse avec un haut niveau de sécurité procurent une grande valeur de vérité. Par exemple, une étude de la résistance des matériaux qui proposerait de soumettre une quantité de tiges de différentes compositions à des pressions similaires offrirait un très haut niveau de sécurité. À l'issue de cette

¹⁰ De l'anglais de Peirce *Uberty* qui signifie à la fois abondance et fécondité. Le mot a la même signification que sa source latine *ubertas*. En français, le terme semble ancien.

recherche, nous aurions atteint un niveau de connaissance fiable des propriétés mécaniques des matériaux étudiés dans le contexte d'application de l'étude.

Au contraire, la valeur pour la science d'une étude offrant un haut niveau d'UBERTÉ se trouve dans sa fécondité à contribuer, même indirectement, à la poursuite de la connaissance. La pertinence d'une telle étude se calcule de manière heuristique. L'uberté constitue le caractère principal de la majorité des études théoriques en science. Celles-ci établissent les outils formels qui coordonnent l'établissement de connaissances sécuritaires. Notre méthode et notre cadre théorique semblent augmenter de manière plus significative la qualité ubertaire de notre projet au prix de sa qualité sécuritaire. Un travail plus sécure aurait pu inclure une analyse de la réception des figures d'atome comportant des entrevues et des sondages auprès du public. Par contre, la sécurité n'est pas le critère unique de validité, selon nous, et nous demeurons conscient du biais ubertaire de notre projet. Notre méthode et nos résultats contribuent principalement à une démarche générale d'élaboration théorique autour de l'analyse de la communication du savoir, plutôt qu'à une description restreinte de la science populaire.

STRATÉGIE MÉTHODOLOGIQUE

L'objectif premier de la collecte de données entreprise dans le cadre de notre étude est de rassembler des cas d'utilisation de la figure de l'atome dans des contextes péri-scientifiques. Elle nous a aussi permis d'observer la variété des formes de figuration mobilisées pour vulgariser l'entité théorique qu'est l'atome. Rappelons que nous entendons par figure d'atome une représentation visuelle illustrant la nature, l'organisation, le concept, la structure, l'idée, le thème ou la fonction d'au moins un atome ou d'un des constituants de l'atome théorique : électron, noyau, nucléon, proton, neutron ou quark. Ces représentations prennent des formes et des qualités très variées que nous décrivons

plus loin. Nous avons consulté plusieurs publications de types variés afin de nous familiariser avec les médias de vulgarisation scientifique. Celles-ci comptent des sites Web, des magazines, les sections spécialisées de certains quotidiens et hebdomadaires, des manuels scolaires, des livres de vulgarisation, etc. Ce recensement informel nous a aussi permis de découvrir l'étendue des types de figure présents et de déterminer certains de nos critères d'analyse. Nous avons donc établi, à l'issue de ce premier sondage, de cataloguer, par analyse de contenu, les occurrences de figures d'atome dans deux publications imprimées : *Science & Vie* et *Popular Science*.

La revue française de vulgarisation scientifique *Science & Vie* – ou *Science et Vie*, anciennement *La Science et la Vie* – est publiée depuis 1913. Le mensuel est tiré à plus de 415 000 exemplaires et diffusé à travers le monde.¹¹ Quelques sous-publications portent l'expression « science et vie » dans leur titre, par exemple : *Science & Vie Junior* et *Les Cahiers de Science & Vie*. Nous avons consulté quelques-uns de ces numéros de manière aléatoire, mais nous n'avons pas formellement recensé ces sous-publications. Pour sa part, le magazine américain de science et de technologie *Popular Science* – ou *PopSci*, anciennement *Popular Science Monthly* – a été fondé en 1872. Il est diffusé à plus de 1 300 000 exemplaires payés.¹² Depuis mars 2010, presque¹³ tous les numéros publiés depuis la fondation du magazine sont disponibles en consultation gratuite sur Internet.

Les deux magazines choisis ont souvent été reconnus par des prix pour la qualité scientifique ou éducative de leur contenu. C'est d'abord pour cette raison que nous les avons choisis. Outre leur qualité démontrée, nous voulions des périodiques à grande diffusion et publiés depuis plusieurs

11 Chiffres de 2009. Source : OJD, <http://www.ojd.com/adherent/4728> (consultée le 8 octobre 2010)

12 Chiffres de 2009. Source : *Popular Science Magazine Media Kit*, <http://www.popsci.com/advertising> (consultée le 8 octobre 2010).

13 Certains numéros manquent et d'autres ne sont pas complets.

années. Finalement, nous recherchions une couverture multinationale, sans pouvoir se permettre de consulter les magazines publiés dans une autre langue que le français ou l'anglais. Nous avons cherché une publication canadienne, mais n'en avons pas trouvé qui répondait à tous nos critères. Les magazines nous ont été accessibles de différentes manières. D'abord, nous avons cherché à les consulter sur Internet. Mais aucune archive n'était disponible au début de notre recherche.¹⁴ Nous avons donc eu à chercher dans les bibliothèques. Différentes bibliothèques possèdent des numéros couvrants des périodes différentes. Pour ce qui est de *Science & Vie*, nous avons conduit notre travail de recensement principalement à la bibliothèque des sciences de l'Université du Québec à Montréal. Cette institution possède la plupart des numéros couvrant la période depuis la deuxième moitié du 20e siècle. Le cas de *Popular Science* est un peu plus complexe. Les bibliothèques montréalaises ne possèdent pas beaucoup de numéros.¹⁵ Nous avons donc dû procéder par petits pas. Nous avons emprunté quelques numéros sur microfilm d'une université américaine que nous avons consultés à l'Université de Montréal. Nous avons aussi consulté d'autres numéros, toujours sur microfilm, à la bibliothèque Engineering and Science de Queen's University, lors d'un voyage de deux jours à Kingston. Le reste des numéros ont été consultés sur Internet puisque la collection presque complète des numéros de *Popular Science* a été rendue disponible à travers l'archive *Google Books* durant notre période de travail.

Comme les figures publiées dans les magazines ne sont pas indexées ou répertoriées comme c'est le cas des textes, nous avons dû consulter individuellement chaque numéro. Pour les revues imprimées,

14 Il est à noter que certaines archives proposent le texte complet des articles de plusieurs revues. Mais la nature visuelle de notre travail ne permet pas de nous contenter du texte : nous cherchions les figures.

15 La Grande Bibliothèque de Bibliothèque et Archives nationales du Québec possède un bon catalogue, mais elle maintient ses numéros dans son magasin de stockage et ses conditions de consultation rendent les magazines très difficile à accéder.

nous avons tenté d'identifier les figures en balayant des yeux les pages ouvertes. Les revues en format microfilm et celles sur Internet ont été balayées de la même façon. La consultation de publications sous forme de microfilm et sur l'ordinateur est beaucoup plus rapide et efficace. Elle ne s'est pas avérée possible dans tous les cas, mais nous l'avons préféré lorsque cette méthode se proposait. Notre analyse s'étend à plus de 500 numéros de *Popular Science* (environ 100 à 300 pages par numéro) couvrant la période de 1950 à 1990 et à quelques 550 numéros de *Science & Vie* (environ 150 à 200 pages par numéro) publiés depuis 1951 jusqu'à 2000. Nous avons compté presque 300 figures d'atome ; la vaste majorité (220) de celles-ci se trouvent dans *Science & Vie*.

Nous avons noté chacune des figures d'atome que nous avons vues dans les revues consultées. Nous n'avons pas filtré les articles par mot clé puisque nous avons rapidement réalisé que les figures pertinentes ne se trouvaient pas seulement dans les articles discutant spécifiquement de l'atome ou des thèmes reliés. Nos notes sur les figures se trouvent collectées dans deux chiffriers électroniques, un par mensuel.¹⁶ Chaque numéro consulté et son année de publication est marqué dans nos données, qu'il contienne une figure ou non. Par contre, lorsqu'une figure était identifiée, nous notions le contexte d'apparition : un article, un encadré, une publicité, une page couverture, etc. Nous décrivions ensuite la figure elle-même visuellement et ce qu'elle cherche à représenter. Nous attribuions alors un type pour la figure ; nous avons en seconde analyse uniformisé les types afin de pouvoir les repérer plus facilement. Nous notions aussi directement le niveau de représentation exprimé par la figure, suivant notre cadre d'analyse décrit plus loin. Finalement, certaines figures nous ont poussés à noter des commentaires généraux. Nous avons parfois noté certains articles clairement à propos des atomes, mais qui n'affichent pas de figure de l'atome. Nous avons considéré

16 En format OpenDocument (.ods), libre et bien documenté.

comme un ensemble les figures multiples qui se trouvent dans une même illustration, et nous avons noté cette illustration comme une seule occurrence. Donc, une occurrence notée ne correspond pas à un seul atome illustré, mais bien à une utilisation spécifique de l'atome représenté parfois dans un groupe. Il y a des cas où plusieurs illustrations indépendantes se trouvent sur le même double-page. Ces illustrations ont été notées individuellement.

Tableau A : Deux exemples, sélectionnés aléatoirement, de figures recensées dans notre enquête

Numéro	Année	Contexte	Description	Type/Objet	Niveau	Commentaire
876	1990	Encadré : effet de serre : la part humaine	[p.40-41] schéma du phénomène d'effet de serre	molécules atomes boules fusionnées	tri	chimie
222(5)	1983	Article : Dramatic new evidence in the century-old search for cosmic order	[73] illustration manuscrite du serpent de Glashow contenant un atome Rutherford à l'échelle 10^{-10}	atome Rutherford, noyau simple	thème	almost tri

La méthode d'analyse de contenu que nous avons choisie a été utilisée souvent dans des approches similaires à la nôtre. Par exemple, Sergi Cortiñas Rovira (2008) utilise une méthode semblable pour recenser les différentes métaphores proposées pour vulgariser le rôle de la molécule d'acide désoxyribonucléique (ADN). Aussi, une autre étude typique de l'« imaginaire collectif » élaboré à travers les articles de vulgarisation scientifique publiés en Italie (Cianci, 2003) mobilise la même méthode de recensement des occurrences thématiques. Ces deux exemples appliquent l'analyse de contenu à partir de mots clés. Notre approche s'exprime plutôt par des occurrences de figures, mais la méthode est la même. Nous notons les détails de chaque figure que nous identifions comme une représentation de l'atome. Nos résultats seront confrontés plus loin au cadre théorique que nous élaborons au cours de prochains chapitres.

Comme mentionné précédemment, au-delà de l'analyse formelle et quantitative des figures d'atomes dans les deux revues consultées, nous avons consulté plusieurs autres publications de vulgarisation comme des numéros du magazine américain *National Geographic Magazine* qui nous étaient facilement accessibles, quelques manuels et monographies ainsi que plusieurs pages web proposant un contenu vulgarisateur. Ces sources variées ne sont pas représentées dans les données de notre corpus, mais leurs exemples ont contribué grandement à la préparation. Notre discussion s'inspire de toutes les sources de données rencontrées dans notre enquête : sources formelles et informelles. Par contre, seule l'analyse de contenu systématique permet véritablement d'appuyer nos discussions de la distribution des figures d'atome dans les magazines consultés.



CHAPITRE II

REVUE DE LITTÉRATURE

Comme il est profond, ce mystère de l'Invisible ! Nous ne le pouvons sonder avec nos sens misérables, avec nos yeux qui ne savent apercevoir ni le trop petit, ni le trop grand, ni le trop près, ni le trop loin, ni les habitants d'une étoile, ni les habitants d'une goutte d'eau...

Guy de Maupassant
Le Horla, 1887

Avant d'entreprendre l'élaboration du cadre théorique supportant notre discussion des figures d'atome, nous présentons dans ce chapitre une revue élargie des publications pouvant être liées à notre travail. L'approche théorique que nous prenons constitue un départ franc par rapport aux travaux publiés. Mais les questions de la figuration, de la représentation et de l'interprétation du savoir ont inspiré de nombreux chercheurs dans plusieurs domaines. Ce survol permet de situer notre entreprise plus spécifiquement.

L'intérêt pour la culture visuelle issue de la recherche scientifique est relativement récent. Mais, de nombreux articles et quelques collections publiées récemment font de la représentation en science leur principal sujet. (Lynch et Woolgar, 1990 ; Pauwels, 2006 ; Hüppauf et Weingart, 2008) Les études des produits de cette culture s'étendent dans tous les domaines travaillant de près ou de loin à éclaircir notre compréhension de la pratique scientifique et de son importance pour les sociétés

contemporaines. Les unes cherchent à élaborer des parallèles entre la production de figures de science et de figures artistiques. (Jones et Galison, 1998) D'autres prêchent l'importance de la préparation esthétique et de la composition des figures scientifiques afin de fasciner et de susciter la passion du savoir. (Frankel, 2002) D'autres encore se questionnent sur le rôle des figures – en tant qu'outil de travail – dans l'élaboration de la connaissance, aujourd'hui et dans l'histoire de la science. (Galison, 1997; Latour, 1990) Il y a aussi des artistes qui s'inspirent de la science pour participer à la communication de la connaissance à travers des œuvres visuelles et plastiques illustrant des modèles théoriques. (Snelson, 1994; Andersen, 2005) Les scientifiques et les artistes se rejoignent ici dans leur intérêt mutuel pour la figure et pour le message de notre interprétation du monde.

PHILOSOPHIE : LE MODÈLE, LA THÉORIE ET LE MONDE

Sans s'attarder à la figure populaire, plusieurs philosophes examinent le modèle scientifique. L'entreprise normative de celui-ci encourage les philosophes de la science à définir et à expliciter la relation entre le modèle et la chose que le modèle représente, son système cible. (Frigg et Hartmann, 2006) Par exemple, certains philosophes perçoivent le modèle comme l'application de la théorie sur le monde. Selon ceux-ci, les modèles sont construits à partir d'hypothèses et de généralisations à propos du monde, celles-ci sont contrôlées par les paramètres de la théorie dans laquelle ils s'inscrivent. Ronald N. Giere (2004) propose : « What is special about models is that they are designed so that elements of the model can be identified with features of the real world. » (p. 747) Ainsi, pour lui les modèles forment un pont entre la théorie et le monde. Cette conception – dite sémantique – réduit la théorie à un arrangement de modèles. Une théorie devient un groupe de modèles du monde organisés de manière cohérente et significative. Mais le monde ainsi représenté demeure distant. D'autant plus, pour Todd Harris (2003), bien qu'une théorie cohérente dirige leur construction, les

modèles «represent inexactly» (p. 1509) le monde décrit par la théorie. Cette notion de multiples représentations sera présente, de manière différente, dans notre analyse.

Nancy Cartwright (1999) voit les choses autrement, pour elle la pertinence des modèles doit dépasser la théorie : « The first job of models [...] is that of representing, representing what reliably happens and in what circumstances[.] To get models that are true to what happens we must go beyond theory. » (p. 181) De plus, elle a une conception très concrète et appliquée de la théorie et des modèles. Elle défend que les modèles et les théories entraînent toujours des clauses *ceteris paribus* qui limitent leur application à des cas particuliers. L'exercice de création et de manipulation de modèles permet d'adapter la théorie générale à ces applications.

Une définition philosophique typique du modèle est : « a model is an interpretative description of a phenomenon (object or process) that facilitates perceptual as well as intellectual access to that phenomenon. » (Bailer-Jones, 2003, p. 61) Ce qui manque à cette définition, selon nous, c'est la notion que le modèle doit pouvoir être partagé par ses utilisateurs, par toute la communauté des scientifiques. Le modèle permet d'expliquer le monde au chercheur qui le développe, mais il est aussi utilisé afin de partager ce savoir – ou ce point de vue – avec d'autres chercheurs ainsi qu'avec le public. Le rôle médiatique du modèle est rarement étudié en philosophie. Les figures des modèles le sont encore moins.

Tout de même, nous trouvons des discussions où la question de la représentation dans la sphère de la connaissance devient une source d'investigation et de débat entre les philosophes. Par exemple, on discute beaucoup de la question de l'isomorphisme. Les uns requièrent que la représentation – théorie ou modèle – soit isomorphe à son objet pour recevoir la validité scientifique. (van Fraassen, 2004) D'autres demandent simplement un isomorphisme partiel. (French, 2003) Tandis que d'autres encore

rejetent complètement la nécessité d'isomorphisme. (Teller, 2001) Ces conceptions assument cependant qu'il y a une différence entre les représentations telles qu'utilisées en science et celles utilisées ailleurs, en arts par exemple. Certains penseurs prétendent plutôt que la représentation scientifique est du même ordre que tous les autres types de représentation, et que les discussions philosophiques traditionnelles au sujet de la représentation et de l'esthétique demeurent valides pour l'étude des théories et des modèles en science. (Callender et Cohen, 2006) Malgré la grande variété de points de vue, un thème unit ces études en philosophie : elles cherchent toutes à expliquer le rapport qui existe entre la théorie et le monde manifeste.

Dans une perspective intéressante, les textes de la collection *Models as Mediators* dirigée Mary S. Morgan et Margaret Morrison (1999b) tentent de présenter le modèle scientifique comme un médium. À travers leurs contributions personnelles (Morgan et Morrison, 1999a ; Morrison, 1999), les deux philosophes conçoivent le modèle comme un objet autonome, indépendant de la théorie. Par contre, elles maintiennent le lien entre théorie et monde soutenu par les autres philosophes ; le modèle devient le médium d'échange entre l'univers théorique et l'univers phénoménologique. Elles ignorent la fonction communicative du modèle d'un humain à l'autre, même dans leur évaluation de son rôle médiatique. Tous ces philosophes de la science élaborent des critères d'évaluation de la connaissance telle qu'établie à travers la méthode scientifique. L'investigation philosophique du modèle demeure donc très réaliste. Elle analyse presque exclusivement la relation théorie-monde et ignore le sujet.

SOCIOLOGIE : LA PRAXIS SCIENTIFIQUE

Une conception plus humaniste pose le modèle et les figures comme éléments dans un processus d'idéalisation, de simplification, de généralisation, de mathématisation du monde. C'est le point de

vue de plusieurs sociologues. La sociologie de la science étudie l'activité des chercheurs dans le contexte de leur travail journalier.¹⁷ Sans nécessairement rester cloîtré dans le laboratoire, la sociologie de la science s'occupe tout de même principalement de l'élaboration de la connaissance dans le travail des scientifiques et de leurs contextes – social, politique, académique, économique – de recherche. Les savants manipulent systématiquement les données particulières d'un phénomène ou d'une expérience pour en extraire un savoir général – souvent quantitatif – à propos du monde. Cet algorithme de quantification inclut habituellement des représentations conceptuelles, des modèles, et visuelles, des figures.

Michael Lynch (1990) décrit la suite des transformations à travers lesquelles les données progressent de la spécificité de leur existence individuelle vers leur application à une théorie générale. Selon lui, le modèle est une des étapes possibles sur ce chemin qui peut aussi inclure des photographies, des illustrations, des diagrammes, etc. Selon bien des chercheurs comme Lynch, le modèle constitue une représentation hautement abstraite et idéalisée de l'objet spécifique étudié. Il offre donc une version du phénomène réel plus « analysable. » (Amann et Knorr-Cetina, 1990, p. 107) Dans ce sens, Susan Leigh Star et James R. Griesemer (1989) proposent un concept populaire élaboré dans ce contexte sociologique : l'objet frontière (*boundary object*). « Boundary objects are objects which are both plastic enough to adapt to local needs and the constraints of the several parties employing them, yet robust enough to maintain a common identity across sites. » (p. 393) Ainsi, le modèle, pris comme objet frontière, serait étudié suivant ses caractéristiques particulières partagées par les différents

17 Pour mettre les choses autrement, nous pouvons généraliser que la philosophie se concentre particulièrement sur la science théorique, l'élaboration d'explications, de concepts. Au contraire, la sociologie se penche plutôt sur la science expérimentale, le laboratoire, les manipulations.

intervenants humains coopérant à son processus d'élaboration ou de diffusion. Ce concept permet de mettre en valeur la validité d'un objet au-delà la multiplicité des perspectives de cet objet.

Par contre, contrairement aux philosophes de la science, ces sociologues de l'école des *science and technology studies* (STS)¹⁸ se concentrent principalement sur une discussion de l'utilisation et du rôle de la visualisation et des outils de représentation dans la pratique scientifique. Bruno Latour (1999), par exemple, prévient qu'une étude ciblée à l'extrême sur les objets visuels obscurcirait le contexte général de leur application. Il donne aux modèles une fonction plus générale que leur existence en tant que seules représentations. Le modèle ne constitue qu'un des acteurs dans le réseau de l'activité scientifique théorique et en laboratoire. Dans ce domaine, on parle rarement formellement de communication et les recherches se limitent souvent à l'étude du travail des savants, sans toucher au public.

LA COMMUNICATION ET LA POLITIQUE DU SAVOIR

Il faut habituellement se tourner du côté de la communication de la science pour trouver des études concernant la diffusion populaire de la connaissance. Un domaine particulier de recherche multidisciplinaire s'y concentre : *public understanding of science*.¹⁹ Pour les chercheurs de ce champ d'étude, la problématique se situe souvent dans la balance qualitative de la transmission du savoir entre les savants et le public. Un concept typique de ce domaine est le modèle déficitaire²⁰ selon lequel le public affiche un retard par rapport aux savants. Dans un premier temps, les chercheurs s'intéressent aux écarts de niveaux de connaissance. Dans un autre temps, ils évaluent la qualité de la crédibilité accordée aux différentes recherches. Finalement, on désire améliorer l'opinion publique

18 Études de la science et de la technologie.

19 Compréhension publique de la science.

20 En anglais on dit *deficit model*.

face au travail des savants en général. Même si ce modèle déficitaire n'est pas toujours défendu vigoureusement, les études de ce domaine posent souvent un manque à combler du côté du public. Les positions varient selon la conception du public, de ce qui constitue la compréhension et de ce qui est de la science. Les champs étudiés gravitent principalement autour des questions de science et de technique contemporaines et qui impliquent directement le public : les questions qui touchent à la santé, à l'actualité et à la politique. On explore par exemple, les enjeux concernant les manipulations génétiques ou, plus près de l'atome, l'énergie nucléaire. (Gregory et Miller, 1998)

En outre, le modèle déficitaire est vigoureusement critiqué. (Bucchi et Neresini, 2008) Les études récentes de la communication de la science tentent de développer une conception plus nuancée de l'échange. Déjà Callon (1999) présentait trois modèles de la participation du public à l'élaboration de la connaissance scientifique : l'éducation publique, (p. 82) qui reprend les thèmes du *deficit model* ; le débat public, (p. 84) qui prend en compte l'interprétation et le facteur de représentation ; et la coproduction du savoir entre les sciences et le public, (p. 89) que Callon favorise.²¹ Bucchi (1996; 1998; 2004), entre autres, reprend cette notion de collaboration entre les savants et les profanes. Il refuse la notion d'un public ignorant : « Lay knowledge is not an impoverished or quantitatively inferior version of expert knowledge; it is qualitatively different. » (Bucchi et Neresini, 2008, p. 451) Il conçoit les domaines public et scientifique non comme des niveaux d'un même discours, mais comme des discours indépendants, évoluant en parallèle. (Bucchi, 2004, p. 274) Il propose alors une sorte de

21 Il est intéressant de noter, dans notre contexte spécifique, ce commentaire de Callon (1999) : « It is difficult to imagine, for example, how particle physics could submit to Model 3 [co-production] when, in order to succeed, it had to cut itself off from the public and work in the secrecy of its laboratories, behind huge esoteric equipment. » (p. 93) Il se demande s'il est possible d'évaluer la participation du public dans le développement du savoir sur les particules élémentaires. Mais il ignore le rôle de la représentation dans l'élaboration de la connaissance. Autant le public, qui n'a de contact avec la connaissance que par ses figures, que les scientifiques, qui explorent souvent uniquement des modèles, ne connaissent le monde qu'à travers des représentations. Selon nous, le savoir est en quelque sorte un amalgame de représentations parfois savantes et parfois profanes.

transdiscursivité entre le discours scientifique et le discours populaire en opposition à l'approche linéaire traditionnelle. Selon lui, la communication du savoir par les scientifiques et son adoption par le public sont des forces combinatoires dans le processus de production et de diffusion de la connaissance.

D'une autre perspective, plutôt que de vouloir communiquer la connaissance issue de la science, certains chercheurs pensent que le public serait plus en mesure de se situer dans les débats impliquant des notions scientifiques si celui-ci avait une meilleure compréhension de la méthode scientifique. Dans *The Golem*, Harry Collins et Trevor Pinch (1993) proposent et explicitent leur point de vue selon lequel le public doit être rendu conscient des limites de la science et du fait que l'entreprise scientifique demeure faillible et tentative. Ils rejettent l'image populaire positiviste de la science faisant irréfutablement autorité. Le public, selon eux, doit être suffisamment outillé pour contribuer aux questions qui le touchent. Selon nous, l'origine des figures et l'objet de leur représentation, modèle ou phénomène, requièrent des explications. Donc, notre point de vue s'aligne avec celui de Collins et Pinch, mais nous nous éloignons des questions politiques.

Finalement, il semble y avoir un manque dans la littérature sur les modèles et leurs figures. Leur rôle dans la communication de la science n'est pas directement exploré. Une méthode d'analyse concrète des figures de la science et de leur diffusion manque toujours. Les philosophes de la science posent presque exclusivement le problème de la relation théorie-monde. Les scientifiques eux-mêmes voient le modèle comme un outil de travail au même titre que les autres instruments de laboratoire. Certains élaborent une esthétique de la visualisation scientifique sans discuter de l'impact des manipulations sur la transmission de la connaissance. Les chercheurs du mouvement *public understanding of science* ne semblent pas porter attention au rôle des représentations visuelles dans la diffusion du savoir. Ils

cherchent principalement à comprendre ou à influencer l'opinion publique sur des cas de controverse technique et scientifique. Les sociologues des sciences ignorent pour la plupart le rôle médiatique que remplit le modèle. Ils se préoccupent des méthodes d'élaboration, de production et de manipulation des représentations dans le travail journalier des scientifiques. Il n'est pas question de communication.

LA VISUALISATION ET LA FIGURE

Certains penseurs, tout de même, s'installent dans une position médiane qui s'accorde bien à notre intérêt multidisciplinaire. Par exemple, Regula Valérie Burri et Joseph Dumit (2008) proposent une concentration de recherche en STS sur la question de ce qu'ils appellent *scientific imaging and visualization*.²² Ils organisent ce nouveau cadre de recherche sur trois axes : la production, l'engagement et le déploiement. Ce troisième axe évoque exactement le contexte du travail que nous décrivons ici. Dans leurs mots, l'étude du déploiement « refers to the use of scientific visualizations in different social milieus. It studies how images diffuse into nonacademic environments and analyzes the intersections of different forms of (visual) knowledge. » (p. 300) De plus, ils incluent dans ce champ le phénomène d'acclimatation de certaines figures qui deviennent les bases « objectives » de la connaissance courante. (p. 300) Par contre, leur évaluation des travaux sondant la diffusion des visualisations nous apparaît limitée. Elle porte principalement sur le caractère persuasif des figures de science. Ils semblent ne trouver d'exemples de recherche que dans les débats entre scientifiques sur la manipulation numérique des figures, dans les questions politiques et légales une fois de plus ou dans les représentations du corps. « We still lack STS studies of the process by which people are visually persuaded and of the deployment of scientific visual knowledge in other social milieus and

22 La production d'images et la visualisation scientifiques.

with other forms of knowledge.» (p. 307) Nous désirons contribuer, humblement, à combler ce vide ; sans pourtant nous restreindre au cadre des STS.

Les figures issues de la science ont aussi inspiré plusieurs chercheurs de langue allemande. Une collection de traductions anglaises de textes sur le sujet offre une introduction à la perspective germanique : *Science Images and Popular Images of the Sciences* (Hüppauf et Weingart, 2008). Bien que plusieurs textes de ce livre discutent de l'image (abstraite) du scientifique dans les médias populaires, quelques-uns s'inscrivent dans une analyse de la figure. Par exemple, Sybilla Nikolow et Lars Bluma suggèrent que :

The success of science images in both science-internal and public communication seems to depend on the degree to which they, as particularly mobile objects, offer semantic flexibility and identities for different groups of recipients... Science images thus should be regarded as specific forms of representation and production which fluctuate between the scientific and the public sphere and acquire their meaning only through this process of exchange. (2008, p. 35)

L'approche des auteurs réunis dans cette collection s'aligne avec les conceptions des auteurs francophones et anglophones des STS, par contre ils font intervenir de manière plus importante la notion de signification qui s'avère cruciale dans notre contexte. De plus, nous notons chez ces auteurs une reconnaissance de l'aspect médiatique des figures. À titre d'exemple, Dieter Mersch rappelle que « it should not be forgotten how much knowledge equally depends on its manner of presentation and its specific mediality. » (2008, p. 181)

Une analyse plus approfondie des publications allemandes ne nous est pas possible, mais il semble que de nombreux auteurs y approchent les figures de manière intéressante. Toutes ces études touchent de près ou de loin à la notion de figure. La variété de leurs perspectives étend prodigieusement ce champ. Par contre, il nous semble que le manque de consensus sur un cadre

théorique clair applicable à l'analyse que nous proposons d'entreprendre nous force à tenter d'en élaborer un nouveau.



CHAPITRE III

RÉFLEXIONS ARCHÉO-SÉMIOTIQUES

... il suffit de créer de nouveaux noms, appréciations et vraisemblances pour créer à la longue de nouvelles « choses ».

Friedrich Nietzsche
Le gai savoir, 1882

C'est à leurs fruits que vous les reconnaîtrez.

Matthieu 7.16 (TOB)

Ce chapitre présente le processus et le développement de la méthodologie théorique qui servira à cadrer l'analyse des figures de l'atome que nous entreprendrons au prochain chapitre. Cette théorisation procède par une articulation synthétique de la méthode d'investigation philosophique de Michel Foucault, l'archéologie, à travers la logique du signe et de son évolution à la base de la philosophie pragmatique de Charles S. Peirce.²³ Nous débutons par une exposition de certaines difficultés rencontrées au cours de cette exploration. Mais d'abord, présentons ces deux grands penseurs.

Le premier est celui dont les idées jouent le plus important rôle dans notre analyse. Charles Sanders Peirce (1839–1914) est né à Cambridge aux États-Unis. Peirce est principalement connu comme le

²³ Le grand commentateur français de l'œuvre de Peirce, Gérard Deledalle, avait déjà noté une minuscule similarité entre une caractérisation triadique de l'énoncé par Foucault et la théorie peircéenne du signe. (Peirce, 1978, pp. 250-252) Nous espérons toutefois nous rendre beaucoup plus loin que Deledalle.

père du pragmatisme : la notion que la signification d'une proposition provient de ses effets sur les choix d'action. Il a contribué de manière importante aux mathématiques, à la chimie expérimentale, à la cartographie, à la cosmologie et à plusieurs autres domaines scientifiques. Il est aussi reconnu comme le plus important philosophe de l'histoire des États-Unis. Il se disait avant tout logicien. Sa contribution la plus probante consiste en son système de classification des signes et sa théorie de l'esprit. Peirce entreprit ses réflexions dans le dessein de développer un système philosophique général, à la suite d'Aristote et de Kant. La logique peircéenne emprunte beaucoup à Dun Scotus et aux logiques scolastiques. Il se situe donc à part par rapport à ses contemporains. Ses travaux ont influencé l'évolution de grands mouvements de la pensée du début du 20^e siècle tels le pragmatisme, le positivisme logique et toute la philosophie analytique. Depuis les années 1960, Peirce a été redécouvert. Ses idées, difficiles à saisir pour ses contemporains, contribuent grandement aux idées nouvelles de la philosophie contemporaine. Par exemple, plusieurs penseurs post-structuralistes européens, Deleuze et Derrida entre autres, retrouvent chez Peirce le passage au-delà de la dualité restreignante du structuralisme dont ils veulent se libérer.

En marge de ces mouvements formellement post-structuralistes se situe un autre penseur français, Paul-Michel Foucault (1926–1984). Foucault, né à Poitiers en France, utilise une méthode de recherche à mi-chemin entre l'analyse du discours et la reconstruction historique qui doit beaucoup à Friedrich Nietzsche, à Gaston Bachelard, à Immanuel Kant et à son professeur Georges Canguilhem. L'issue au problème du sens, selon Foucault, se trouve dans la prise de conscience de l'importance des relations humaines imposées par une politique de tous les jours sur l'élaboration de la connaissance qui, elle-même, contribue à maintenir ces relations. Les recherches historico-discursives de Foucault le mènent à développer une conception profonde du rapport entre le corps et le savoir que Foucault

appelle bio-politique. Cette notion est grandement reprise par les penseurs de plusieurs domaines dont les études féministes, la sociologie, la philosophie politique et l'étude de la communication. Bien que sa carrière fût brève, les travaux de Foucault continuent d'influencer nombre de réflexions encore aujourd'hui. Nous tenterons, au cours de ce chapitre, de construire un cadre théorique d'analyse des figures de la science issue d'une analyse peircéenne de la pensée de Foucault.

QUELQUES AJUSTEMENTS THÉORIQUES

Michel Foucault est un philosophe qui, d'une part, n'a pas élaboré de nouvelle théorie systématique et qui, d'autre part, ne reprend pas directement les conceptions d'autres philosophes pour les élaborer ou les critiquer. Faute d'une catégorisation adéquate, certains commentateurs le qualifient de pragmatiste²⁴ (p. ex. Mota, 2009), d'autres de sceptique²⁵ (p. ex. Veyne, 2008), et bien d'autres tentatives encore de lui coller une épithète philosophique. Sans aucun doute, Foucault s'attaquait à des questions originales, et il le faisait avec un style franc et nouveau. Par contre, cette originalité confère à première vue à son travail un caractère obscur qui semble difficile à dépasser pour plusieurs penseurs. Gary Gutting, dans l'introduction de sa collection *The Cambridge Companion to Foucault*, décrit le travail de Foucault comme « at root ad hoc, fragmentary, and incomplete. » (2003, p. 2) De plus, l'anthropologue Clifford Geertz qualifie Foucault de « a kind of impossible object ». (cité dans Dreyfus et Rabinow, 1983, p. xviii) Nous n'acceptons pas ces critiques.

Il semble que Foucault évite d'établir les fondements d'une doctrine manifeste ou d'élaborer une théorie générale à travers son travail. Il étudie les conditions de possibilité du « dire vrai », sans

24 L'argument standard pour cette position est l'intérêt, apparemment exclusif, de Foucault pour la pratique du discours, pour son activité observable, et son rejet de toute transcendance. Cet argument rend Foucault beaucoup plus proche de la tradition pragmatique issue de William James que de celle établie par Peirce.

25 À la Hume, qui refusait catégoriquement la notion universelle de régularité.

revendiquer de doctrine métaphysique ; de plus, il développe un concept de savoir complexe, sans soutenir de position épistémologique nette ou déclarée. Toutefois, nous croyons que Foucault limite ses réflexions, du moins celles qu'il publie, à la méthode d'investigation elle-même. Il s'intéresse à la manière de s'intéresser. Ce faisant, il s'approprie des arguments et des réflexions issues de plusieurs mouvements dont le pragmatisme, le scepticisme, etc. Cette approche mixte est bien entendu déstabilisante, comme le démontrent les questionnements d'une philosophe contemporaine :

Like all of the highly original philosophers, Foucault's work poses significant challenges of interpretation and assessment. How are we to take his occasional generalizations when he so often counsels us to analyze only locally and particularly? How can we understand his views on reference, or realism, or an assortment of other contemporary philosophical concerns, when he refuses to address these issues directly? (Alcoff, 2005, p. 212)

L'approche de Foucault semble rendre inutile la tâche de comparaison et de systématisation de sa pensée dans un cadre philosophique qui ne serait pas proprement *foucauldien*. Au contraire, selon nous, la flexibilité théorique du travail de Foucault permet d'articuler ses méthodes à travers une variété de doctrines plus fondamentales. Comme nous l'exposerons en détail à travers ce chapitre, nous confronterons certaines des subtilités, et nous proposerons une façon possible de résoudre ces questions et d'autres par l'établissement des concepts méthodologiques foucauldien à l'intérieur du cadre de la philosophie de Charles S. Peirce. Nous ne visons pas une fusion des deux œuvres, nous y cherchons plutôt un cadre conceptuel satisfaisant pour l'analyse des figures d'atome qui est l'objet de ce mémoire.

Certains penseurs ont tenté l'expérience de condenser Foucault dans une doctrine foucauldienne formalisée, avec des résultats variés. Lors des recherches préliminaires à ce mémoire, nous avons étudié avec assez d'attention le travail d'éclaircissement de la pensée de Foucault entrepris par Gilles Deleuze (1986). Malgré son intérêt comme introduction à Foucault, ou encore pour découvrir

Deleuze lui-même, *Foucault* ne s'est pas avéré utile à notre travail. La pensée foucauldienne conserve dans ce livre toute sa fluidité. Elle demeure non cristallisée malgré la synthèse, ce qui ne nous aide pas à rapprocher Foucault de Peirce.

Charles S. Peirce se qualifiait lui-même de débroussailleur d'idées originales.²⁶ De plus, la grande variété des différentes formulations qu'il propose pour ses idées originales, et son effort constant à simplifier ses affirmations passées afin de se faire comprendre de ses contemporains, font du corpus de ses textes un trésor d'énoncés d'une richesse remarquable.²⁷ Il apparaît clair, à lire les nombreux auteurs explorant les idées de Peirce, à quel point ses formules variables peuvent être remaniées, dans une version philosophique du *mashup*, pour y restructurer les significations et les rendre applicables à toute sorte de doctrines. À titre d'exemple notons au passage la variété des différentes qualifications de sa conception de la réalité.²⁸ Afin d'éviter les déviations du fond de la pensée peircéenne, même si cela n'est pas toujours explicite, notre lecture de Peirce s'alimente d'une comparaison des commentaires de plusieurs penseurs familiers avec son œuvre. Nous avons porté une attention particulière aux débats de ces auteurs concernant les points que nous élaborons.²⁹

Sandra Rosenthal (1994) pose le pragmatisme peircéen sur une fondation pluraliste afin de le réconcilier avec le pluralisme épistémologique de Thomas Kuhn. L'épistémologie relativiste de Kuhn

26 Par exemple, Peirce s'excuse de ne pas répondre à une question de manière « scientifique » parce que, « I am, as far as I know, a pioneer, or rather a backwoodsman, in the work of clearing and opening up what I call *semiotic*, that is, the doctrine of the essential nature and fundamental varieties of possible semiosis; and I find the field too vast, the labor too great, for a first-comer. » (EP2 413; CP 5.488; MS 318; "Pragmatism", 1907)

27 L'œuvre écrite de Peirce s'étale sur plus de douze mille pages publiées et plus de quatre-vingt mille pages manuscrites connues. Voir la préface de Edward C. Moore dans (w1 xi).

28 Voir par exemple : Moore, 1952; Haack, 1992; Hookway, 2004; Stern, 2005; Gilmore, 2006; Tiller, 2006; Havenel, 2008.

29 Par contre, nous ne sommes pas immunisé contre l'interprétation généreuse d'une citation, ni ne sommes convaincu de l'infaillibilité de notre approche. Nous proposons tout de même une théorisation qui nous semble cohérente et, dans l'esprit de Peirce, nous essayons de *ne pas bloquer la voie de l'investigation*.

(1962) a parfois été comparée aux schémas discursifs de la connaissance décrits par Foucault.

Foucault lui-même a bien tenté de distinguer ses idées de celles de Kuhn³⁰, mais des rapprochements semblent parfois naturels entre les deux philosophies. Rosenthal tente de démontrer que l'incommensurabilité des paradigmes, notion fondamentale à la doctrine de Kuhn, ne s'oppose pas nécessairement à la conception convergente de la vérité de Peirce. Par contre, comme cette incommensurabilité n'est pas explicite dans le schéma foucauldien, la méthode entreprise par Rosenthal ne se porte pas facilement à une transposition de Kuhn à Foucault. Le travail nécessaire à cette transposition ne nous semblait pas justifiable.

Plutôt que de tenter de manipuler la pensée de Foucault ou celle de Peirce pour les faire coïncider, nous avons adopté une autre forme méthodologique. Nous avons décidé qu'il serait stérile de travestir une doctrine ou l'autre en cherchant à les réconcilier. Afin de joindre Foucault et Peirce, il faut plutôt utiliser la flexibilité théorique de la méthode foucauldienne et l'étendue systématique de la philosophie peircéenne à notre avantage. Nous nous sommes dit que la description que Peirce nous offre du domaine de la logique et de la recherche scientifique est si vaste et si exhaustive que la méthode de Foucault doit certainement s'y retrouver quelque part. Nous avons en effet reconnu comment articuler cette méthode d'investigation à travers la logique et la théorie de la connaissance de Peirce. Nous y avons découvert une cohérence surprenante et, en retour, nous y avons trouvé une justification de la méthode même que nous cherchions à établir : un petit *abracadabra* théorique qui nous a grandement encouragé.

30 Voir Dreyfus et Rabinow, 1983, pp. 60 +; et aussi Agamben, 2008, pp. 10 +.

L'ARCHÉOLOGIE PHILOSOPHIQUE

Le philosophe italien Giorgio Agamben offre une des interprétations contemporaines les plus développées de la pensée de Foucault. Dans deux petits textes récemment publiés ensemble (Agamben, 2008), il explore la méthode d'ARCHÉOLOGIE PHILOSOPHIQUE revendiquée par Foucault. Cette méthode d'investigation philosophique, d'après Agamben, prend source dans le concept de PARADIGME. Il ne faut pas confondre le paradigme dont nous discuterons ici avec le paradigme entendu comme époque épistémologique isolée dans l'histoire de la science selon l'usage de Thomas Kuhn (1962). Le paradigme que Agamben attribue à Foucault constitue un phénomène exemplaire, retiré de son contexte par le penseur pour en dévoiler les caractères particuliers et, en quelque sorte, représentatif des phénomènes analogues qui se posent alors comme véritables objets de l'analyse.

... plus semblable à l'allégorie qu'à la métaphore, le paradigme est un cas singulier qui n'est isolé du contexte dont il fait partie que dans la mesure où, en présentant sa propre singularité, il rend intelligible un nouvel ensemble dont il constitue lui-même l'homogénéité. (Agamben, 2008, p. 19)

Ainsi l'étude du paradigme permet de mettre en lumière les particularités d'un ensemble de phénomènes dont le paradigme devient lui-même l'exemple et le modèle. *Exemple* parce qu'il partage les propriétés des autres phénomènes du groupe ; *modèle* parce que le groupement s'organise autour des propriétés du paradigme.

Le Panopticon peut être conçue comme un paradigme en ce sens. La structure du contrôle des regards, imaginée par le philosophe anglais Jeremy Bentham³¹, à l'intérieur de cette forme de prison idéale

31 De qui Foucault prend le principe selon lequel on demeure « objet d'une information, jamais sujet dans une communication. » (SP 234). Déjà Bentham voyait le potentiel paradigmatique de son Panopticon : « What would you say, if by the gradual adoption and diversified application of this single principle, you should see a new scene of things spread itself over the face of civilized society? – morals reformed, health preserved, industry invigorated, instruction diffused, public burthens lightened, economy seated as it were upon a rock, the gordian knot of the poor-laws not cut but untied – all by a simple idea in architecture? » (Bentham, 1787, Letter XXI)

sert d'exemple de la politique du contrôle carcéral des regards. D'un même jet, elle établit le cadre à travers lequel Foucault peut discuter des relations de pouvoir instituées dans la société par la discipline. Dans tout le texte du chapitre III de *Surveiller et punir*, le schéma panoptique sert de diagramme analogique selon lequel l'analyse des changements dans les mécanismes d'« ordonnance des multiplicités humaines » (SP 254) depuis le XVII^e siècle s'organise.

L'agencement panoptique donne la formule [d'un réseau de dispositifs qui seraient partout et toujours en éveil, parcourant la société sans lacune ni interruption]. Il programme, au niveau d'un mécanisme élémentaire et facilement transférable, le fonctionnement de base d'une société toute traversée et pénétrée de mécanismes disciplinaires. (SP 243)

Le Panopticon devient, pour Foucault comme pour Bentham qui l'inspire, le paradigme – l'exemple et le modèle – de l'établissement théorique de l'ensemble des phénomènes où le pouvoir est conjuré. Il permet ensuite à Foucault de reconnaître la genèse de l'intérêt scientifique pour l'« homme » dans ce nouveau regard, dans l'observation de ce corps ainsi discipliné. Dans notre analyse de la communication visuelle de la connaissance scientifique, les figures de l'atome, et particulièrement celle de l'atome de Rutherford, adoptent ce double rôle de paradigme. Elles deviennent l'exemple et le modèle à travers lesquels nous discutons de la figure scientifique populaire.

De l'identification d'un tel paradigme émerge la recherche qui permet de décrire, à travers lui, le véritable objet de notre étude. Selon Foucault, à la lumière d'une telle analyse, « ce qui doit apparaître, ce sont, dans l'espace du savoir, les configurations qui ont donné lieu aux formes diverses de la connaissance empirique. Plutôt que d'une histoire au sens traditionnel du mot, il s'agit d'une « archéologie ». »³² (MC 13) Cette archéologie qui n'est pas une histoire, comme Foucault s'efforce de

32 La généralisation de la méthode de Foucault à l'archéologie s'oppose peut-être à la classification répandue de son travail en trois périodes distinctes : archéologique, généalogique, éthique. Foucault lui-même divisait volontiers ses intérêts de recherche en trois thèmes (UP 12-13). Nous acceptons donc les doutes du lecteur sur ce point, mais nous croyons que la description de la méthode archéologique que nous offrons permet de caractériser entièrement l'entreprise foucauldienne, des études sur la folie à celles de la sexualité. Nous sommes du même avis que le

le clarifier dans le passage suivant, ne tente pas de déterrer un discours historique, *autre*, dans lequel s'enracineraient les discours actuels :

Son problème, c'est au contraire de définir les discours dans leur spécificité; de montrer en quoi le jeu des règles qu'ils mettent en œuvre est irréductible à tout autre; de les suivre tout au long de leurs arêtes extérieures... Elle définit des types et des règles de pratiques discursives qui traversent des œuvres individuelles, qui parfois les commandent entièrement et les dominent sans que rien leur échappe; mais qui parfois aussi n'en régissent qu'une partie. (AS 189)

Dans ce sens, l'archéologie ne cherche pas l'origine historique des discours, mais plutôt elle cherche à élucider ce que Foucault appelle leur *a priori* historique³³, autrement dit, les conditionnements appliqués par l'histoire aux discours contemporains. Foucault nomme ÉPISTÉMÈ cette condition qui régit les discours, établit la forme des relations de pouvoir, et ainsi forme le savoir.

L'archéologie étudie le discours au moment particulier de son surgissement dans l'*épistémè* qui le rend possible. L'analyse historique permet de ramener le passé dans sa fonction actuelle, dans le présent. Un présent qui ne sera bien décrit, n'existera vraiment, que dans le futur où l'analyse sera complète. Dans les mots d'un autre philosophe : « The past must be simultaneous with the present; it must therefore not be past, but rather still be present. » (Lawlor, 2003, p. 27) Ce mélange des temps constitue un fondement ontologique de l'archéologie philosophique de Foucault. Agamben le formule ainsi : « L'*a priori*, qui conditionne la possibilité des connaissances, est leur histoire elle-même, saisie à un niveau particulier. » (Agamben, 2008, p. 108) Pour lui, cette méthode illustre un paradoxe dans la « condition *a priori* inscrite dans une histoire qui ne peut que se constituer *a posteriori* par rapport à

philosophe Toni Negri : « En réalité, je ne sais pas si nous pouvons distinguer trois Foucault, ni même deux, puisqu'avant la publication des *Dits et Écrits* et des cours au Collège de France, on avait tendance à ne pas vraiment considérer le tout dernier Foucault. Il me semble en effet que les trois thèmes sur lesquels l'attention foucauldienne s'est portée sont parfaitement continus et cohérents – cohérents au sens où ils forment une production théorique unitaire et continue. » (Negri, 2004)

33 Foucault, comme Peirce, est très fortement inspiré par Kant. Par contre, comme nous le verrons, l'*a priori* de Foucault ne se situe pas du tout au même endroit que celui de Kant.

elle » (Agamben, 2008, p. 109) ; par contre, nous tenterons plus loin de montrer qu'il n'y a pas là de paradoxe, mais que c'est une éclipse importante opérée par Foucault qui rend sa méthode apparemment paradoxale.

Nous croyons que l'archéologie comme méthode d'analyse a intérêt à être classée dans le cadre des modes de raisonnement scientifique classiques. De prime abord, elle résiste un tel classement puisqu'elle n'affiche aucune des formes facilement reconnaissables des modes de connaissance identifiés par la tradition philosophique. Foucault lui-même se défend de ne pas « reconstituer des chaînes d'inférence (comme on le fait souvent dans l'histoire des sciences ou de la philosophie) » (MC 56). Selon lui, les relations de discours mises en lumière par l'étude archéologique « ne relient pas entre eux les concepts ou les mots ; elles n'établissent pas entre les phrases ou les propositions une architecture déductive ou rhétorique. » (MC 66-67) Nous verrons que la méthode archéologique conjure pourtant un mode de raisonnement particulier, souvent ignoré.

Les deux modes classiques d'inférence sont la déduction et l'induction. Peirce décrit quant à lui habituellement trois modes d'inférence : il ajoute l'abduction, ou la rétroduction.

I have always, since early in the sixties, recognized three different types of reasoning, viz: 1st, Deduction which depends on our confidence in our ability to analyze the meanings of the signs in or by which we think; 2nd, Induction, which depends upon our confidence that a run of one kind of experience will not be changed or cease without some indication before it ceases; and 3rd, Retroduction, or Hypothetic Inference, which depends on our hope, sooner or later, to guess at the conditions under which a given kind of phenomenon will present itself. (CP 8.384-388; "A Letter to F.A. Woods", 1913)

L'INDUCTION consiste en l'élaboration de lois générale à partir de l'observation de régularité dans des phénomènes particuliers. Par exemple, afin de découvrir la couleur de billes dans une bourse, nous en tirons une et notons sa couleur : elle est blanche. Nous tirons une autre bille : blanche. Encore une autre : blanche. Après avoir tiré un nombre suffisant de billes blanches, nous pouvons déclarer avec

une certaine confiance que toutes les billes de la bourse sont blanches. Cette affirmation est un principe établi par induction. À l'inverse, la DÉDUCTION procède par l'attribution de propriétés à un phénomène particulier en vertu d'une loi générale préalablement établie ou nécessaire. Ainsi, nous pouvons déduire que la prochaine bille tirée de la bourse sera blanche compte tenu que, jusqu'ici, toutes les billes étaient effectivement blanches.

L'ABDUCTION, aussi appelée rétroduction ou même simplement intuition, quant à elle procède par hypothèse à la cause la plus probable d'une observation. Si nous savons que la bourse de notre exemple fait partie d'un jeu de go³⁴, nous pouvons tout d'abord déduire, d'après les règles de ce jeu, qu'elle contient aussi des billes noires. Sans autre information sur leur emplacement, nous ne pouvons que poser des hypothèses, des abductions. Les billes noires sont-elles dans une autre bourse ; sont-elles perdues ; avons-nous, contre toutes lois statistiques, tiré que les billes blanches et les noires demeurent dans la bourse ?³⁵ Malgré le caractère spéculatif et apparemment arbitraire de l'abduction, celle-ci joue un rôle important dans l'élaboration de la connaissance.³⁶ De plus, les humains ont tendance à croire en leur capacité spectaculaire à poser des hypothèses valables et pertinentes.³⁷

34 « Originaire de Chine, le jeu de go (碁 ou 囲碁 : igo en japonais formel) oppose deux adversaires qui placent à tour de rôle des *pierres* noires (*kuro*) et blanches (*shiro*) sur un tablier, appelé *goban*, tentant ainsi de contrôler le plan de jeu en y construisant des « territoires » qui se comptent en points (*moku* en japonais). » (< http://fr.wikipedia.org/wiki/Jeu_de_go >, 2011-08-25)

35 Le physicien Jean Perrin, dont nous avons déjà parlé, offre un exemple excellent de la méthode abductive : « Si nous étudions une machine, nous ne nous bornons pas à raisonner sur les pièces visibles, qui pourtant ont seules pour nous de la réalité tant que nous ne pouvons pas démonter la machine. Certes, nous observons de notre mieux ces pièces visibles, mais nous cherchons aussi à *deviner* quels engrenages, quels organes *cachés* expliquent les mouvements apparents. » Il résume cette méthode par la formule : « expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple ». (Perrin, 1913, p. 23-24)

36 Les propositions fondées sur l'abduction possèdent souvent une grande uberté : valeur heuristique.

37 Peirce était de cet avis et citait régulièrement Galilée qui revendiquait la notion d'*il lume naturale* [la lumière naturelle] comme source sûre de ses raisonnements. (p. ex. CP 1.80) Il écrit même à son amie Lady Welby : « Reason blunders so very frequently that in practical matters we must rely on instinct & subconscious operations of the mind, as much as possible, in order to succeed. » (s&s 19; "1904 May 7")

Rappelons que Newton utilisait l'abduction sans retenue dans ses recherches, et que plusieurs scientifiques, dont Dalton, ont longtemps défendu la thèse atomiste au nom de cette validation newtonnienne de la rétroduction. La recherche scientifique procède habituellement par l'abduction d'hypothèses, l'induction de lois par l'observation de régularité et la déduction des propriétés de nouvelles observations.

Au-delà de ces trois modes d'investigation, il y a un quatrième mode d'accession à la connaissance largement répandu, mais souvent ignoré par les philosophes : le raisonnement par ANALOGIE. Nous pouvons le décrire comme l'inférence d'une propriété spécifique d'un objet particulier à partir de l'observation dans cet objet d'autres propriétés partagées par des objets particuliers semblables. Ou, dans les mots du philosophe français Edgar Morin : « connaissance du semblable par le semblable qui détecte, utilise, produit des similitudes de façon à identifier les objets ou phénomènes qu'elle perçoit ou conçoit. » (1986, p. 139) Ce mode d'inférence ne permet habituellement pas de mener à des généralisations importantes, mais l'analogie offre tout de même une bonne méthode pour décrire, grouper et classer des cas particuliers. Peirce l'introduit souvent dans ses discussions des techniques de raisonnement.³⁸

Dans notre exemple des billes de go, nous pouvons imaginer qu'elles sont placées sur la planche, prêt au début du jeu. Si nous prenons alors une bille dans notre main et évaluons son poids, nous pouvons prétendre que les autres billes sur la planche ont le même poids puisqu'elles nous apparaissent toutes êtres de la même taille et être composées du même matériel, même si certaines sont blanches et d'autres sont noires. Notre attribution de qualités aux billes non évaluées constitue une inférence par

38 « Analogy is the inference that a not very large collection of objects which agree in various respects may very likely agree in another respect. For instance, the earth and Mars agree in so many respects that it seems not unlikely they may agree in being inhabited. » (cp 1.65-69; "Lessons of the History of Science", 1896)

analogie. Selon Peirce, l'analogie peut être conçue comme la combinaison de deux raisonnements : inductif-déductif et abductif-déductif.³⁹ Il en conclut que : « Owing to its double character, analogy is very strong with only a moderate number of instances. » (W2 47 ; CP 2.513 ; conférence, “On the Natural Classification of Arguments”, 1867) L'inférence par analogie est très utile, par exemple, pour grouper des objets et des observations dans des catégories sans nécessairement opérer des mesures et des calculs exhaustifs.

Dans une autre de ses nombreuses références à l'analogie, Peirce la présente ainsi :

For the sake of brevity I have abstained from speaking of the argument from analogy, which Aristotle terms *παράδειγμα*. I need hardly say that the word analogy is of mathematical provenance. This argument is of a mixed character being related to the others somewhat as the Fourth Figure of syllogism is related to the other three. (RLT 141, 1898)

Le mot *παράδειγμα* [paradeigma], que Peirce attribue ici à Aristote, constitue la racine même du mot paradigme. Ce parallélisme étymologique nous a inspiré l'intuition – l'abduction – que *l'archéologie de Foucault, qui prend source dans la notion de paradigme, se formule comme un raisonnement analogique.*

En effet, il semble que l'étude des paradigmes comme exemples et modèles d'un cadre conditionnant d'élaboration de discours procède de la sorte. Dans l'archéologie, il s'agit de décrire les propriétés d'un objet discursif particulier afin d'inférer les propriétés de tous les discours d'un *épistémè* quelconque. Nous pouvons donc dire que la méthode foucauldienne s'articule comme une méthode d'inférence par analogie : elle permet de décrire les propriétés des discours sans aucune prétention à une description universelle. Foucault se gardait bien de vouloir élaborer des généralisations dans son travail : il refuse toute notion d'universalité et il maintient que *les vérités* ne sont qu'arbitrairement

³⁹ Nous omettons les explications logiques qui permettent à Peirce d'atteindre cette description.

déterminées par la machine de pouvoir de l'*épistémè*. Il procède donc par l'identification de régularité dans les formations discursives particulières pour en extraire les propriétés :

Or ce qui est analysé ici, ce sont des systèmes qui rendent possibles les formes systématiques dernières ; ce sont des *régularités préterminales* par rapport auxquelles l'état ultime, loin de constituer le lieu de naissance du système, se définit plutôt par ses variantes. (MC 105)

C'est alors à travers certaines des « variantes » que Foucault arrive à identifier les caractères particuliers qu'il attribue ensuite par analogie à tous les discours mutuellement contemporains. Notre fondation peircéenne de la méthode archéologique prend doucement forme, poursuivons.

LES CATÉGORIES PHANÉROSCOPIQUES

Avant de revenir à Foucault, nous devons établir encore d'autres fondements conceptuels peircéens qui nous permettront de qualifier plus solidement la méthode archéologique et son rôle dans notre analyse des figures de l'atome. Dès les débuts de sa carrière, Peirce voulait élaborer une philosophie systématique dans la tradition d'Aristote et de Kant. Il se campe alors solidement sur sa réfutation du rationalisme de Descartes, et élabore une réponse critique au dualisme esprit-monde. Tout d'abord, Peirce est un logicien. Il fonde donc toute sa philosophie sur la logique : il ne propose aucune notion qui ne serait pas logiquement défendable. Ainsi, Peirce se propose de découvrir les limites de la réduction des relations logiques. Il démontre que la logique des relations est irréductiblement triadique sur la base de la signification [*meaning*] qui se révèle elle-même triadique.⁴⁰ Or, la triade ne peut pas être réduite à des relations dyadiques, donc il doit y avoir des relations monadiques. Par exemple, l'énoncé « *a* est rond » est monadique⁴¹ ; « *a* fait *b* » est dyadique ; et « *a* donne *b* à *c* » est

⁴⁰ Voir le texte de sa conférence *The Reality of Thirdness* (CP 1.343-349 ; 1903) pour un condensé de ses idées sur le caractère triadique de la pensée.

⁴¹ Il s'agit d'un exemple où l'intérêt se porte sur *a* uniquement. La relation n'est pas véritablement monadique puisque *rond* est un concept signifiant, donc Tiers. Il est impossible de *représenter* une relation monadique. Nous y approchons de manière schématique avec un point ·, mais même le point se distingue par le contraste entre l'encre

triadique. Il réduit tout son système de pensée autour de cette conception de la triade logique et l'infuse d'une essence triple identifiant trois catégories fondamentales qu'il nomme simplement : *Firstness*, *Secondness* et *Thirdness*; Premièrereté, Secondeté et Tierceté.⁴² Ces trois catégories se complètent, elles sont indissociables, et elles sont observables dans tout le réel.

Même si le langage nous oblige parfois à les séparer clairement, il est important de garder à l'esprit que les catégories ne sont jamais isolées. Elles sont présentes dans tout, seul l'esprit décide de mettre en évidence ou de concentrer son attention sur l'une ou l'autre. Certaines situations peuvent mettre plus de lumière sur une catégorie, mais elles sont toutes présentes et participent à tout moment de réflexion. Comme le mentionne Gilles Deleuze, dans un de ses cours où il discute des catégories de Peirce :

Il ne faut pas du tout que vous les fermiez ces catégories. Il faut que vous laissiez une chose : ben finalement peut-être que tout[e] expérience [a] son aspect priméité, secondéité, tiercéité. Simplement on peut dire que telle expérience met l'accent, ou présente un moment où la priméité est presque pure, etc... (cours du 1982-03-16 : <http://www.univ-paris8.fr/deleuze/article.php?id_article=107>)

Les catégories ne sont pas des contenants regroupant les idées ou les signes par qualité ou caractère, elles se présentent plutôt comme des lentilles polarisantes révélant chacune certains aspects spécifiques de chaque phénomène. Nous discuterons en détail chacune des catégories : la Premièrereté, la Secondeté et la Tierceté. Du point de vue de l'analyse, les catégories sont des filtres pour étudier les

et le papier : relation dyadique.

42 Gérard Deledalle (Peirce, 1978; Deledalle, 2002) et la plupart des lecteurs francophones de Peirce, dont Fisette (1996) et Deleuze, utilisent les formes *priméité*, *secondéité* et *tercéité* tirées, semble-t-il, des adjectifs : primaire, secondaire et tertiaire. Ce n'est pas par caprice, mais pour des raisons de fidélité, que nous choisissons d'autres termes. La formule adoptée par Peirce est de former un substantif de la qualité tirée de l'adjectif ordinal : la qualité d'être *First*, devient *Firstness*, et ainsi de suite. Or, nous traduisons en français la même formule : la qualité d'être *Premier* devient *Premièrereté*, et ainsi de suite. Nos termes – Premièrereté, Secondeté et Tierceté – ont aussi l'avantage de n'être pas des néologismes, ils existent en français. Notons que, pour bien les distinguer, nous capitalisons les noms des catégories et leurs formes ordinales, adjectif ou substantif, comme le fait habituellement Peirce.

phénomènes et la pensée. Isolément, elles ne forment pas la totalité des qualités d'un objet, et seule l'une d'entre elles ne peut constituer toute la complexité d'une chose, d'une idée, d'une représentation, d'un signe.

La PREMIÈRETÉ caractérise les relations monadiques. Il s'agit de l'idée telle qu'elle est en relation avec elle-même. La Première est dite universelle : non au sens d'applicable à tout, mais manifestant le caractère selon lequel chaque occurrence d'une pensée, par exemple, est une occurrence du même Premier. Toutes les occurrences d'une classe d'observations se partagent le même possible, ce possible est singulier, unique, universel, Premier. Cette catégorie apparaît souvent comme la plus évasive. Quelques qualificatifs attribuables à cette catégorie sont : original, réel, possible, virtuel, indéterminé, Être, spontané. Le Premier est un précédent à l'actuel, il décrit la possibilité de l'actualisation du fait, du phénomène ou de la pensée.

Les relations dyadiques se trouvent représentées par la SECONDETÉ. Il s'agit du monde des faits bruts, des observations actuelles, des objets existants. Les Seconds sont des cas particuliers, des occurrences spécifiques avec leurs particularités et leurs irrégularités bien déterminées. L'actualité d'une observation la place dans des rapports avec un contexte, avec d'autres phénomènes avec lesquels elle établit des relations, elle se distingue, elle prend forme. Lorsque l'on parle de fait, d'actualité, de force, de différence, de substance, de l'autre, d'action, d'existence, nous sommes dans le domaine de la Secondeté.

La TIERCETÉ décrit les relations triadiques. Peirce réfère souvent à la loi [*law*] lorsqu'il parle de Tierceté. La loi est la condition nécessitante qui forme les choses, les pensées, les idées. En ce sens, le Tiers est un cas général, une généralité qui détermine les propriétés d'une chose. Toutes les notions déterminantes en ethnographie, comme la culture, les traditions ou les habitudes, entrent dans des

relations triadiques de ce genre : un symbole prend forme pour une personne d'une certaine manière.⁴³ Bref, la signification est Tierce. Quelques autres notions exprimant la Tierceté : la médiation, le processus, la détermination, l'accoutumance, le devenir, la continuité, la condition. En résumé, dans la cosmologie de Peirce, le monde des actualités particulières, des expériences, le monde Second ne compose qu'un tiers de la réalité. Il y a aussi le monde des possibles universels, indéterminé et infini : le monde Premier. Et, il y a finalement le monde des possibles généraux, déterminé et fini : le monde Tiers. Le monde des Premiers contient les conditions de possibilité actualisables (virtuelles), et le monde des Tiers contient les conditions de possibilité déterminantes (conditionnelles). Cette distinction entre Tierceté et Premièrereté deviendra très utile à la prochaine section.

Pour offrir un exemple plus concret afin d'illustrer les catégories, prenons une pomme. Tout d'abord, considérer la pomme en tant qu'objet relativement sphérique, presque rouge, avec toutes ses irrégularités et toutes ses qualités actuelles consiste en une perspective Seconde du fruit. La pomme repose sur mon bureau, elle a une odeur sucrée, etc. Dans cette perspective, la pomme se décrit par son existence brute, par son rapport à son environnement – le bureau, la rétine, le nez – et par sa différenciation de tous les autres objets dans mon champ de vision et dans le monde, il s'agit de la Secondeté. En contraste, les réminiscences de la maison de campagne de mon grand-père, les références à l'éducation, au péché originel, à l'épiphanie de Newton qui s'installent toutes dans mon esprit à la vue du fruit caractérisent la pomme selon une perspective Tierce. Elles n'engagent pas seulement la pomme et moi, mais aussi les idées et les objets qui s'associent à la pomme à travers ma

43 Sur la notion de symbole dans l'étude de la culture voir Turner (1967; 1969). Nous ne voulons pas confondre ici le symbole anthropologique et le concept de signe symbolique de Peirce que nous discuterons plus loin. Les deux notions sont liées, mais l'une est beaucoup plus générale que l'autre.

mémoire, mes réflexions et mes analogies. Finalement, nous pouvons dire qu'il y a quelque chose de Premier dans le pépin de la pomme, aussi dans l'arbre qui a produit la pomme, peut-être plus encore dans la combinaison moléculaire d'ADN et d'ARN de l'organisme pour lequel la pomme est l'organe reproducteur. Mais la Premièreté qualifie aussi, peut-être de manière plus convaincante, la sphère qui sert d'image idéale de la forme de la pomme, la qualité abstraite de la couleur rouge, les notions réelles de fruit, de reproduction, de plante, de pomme, etc.

Ce qui est complexe, ici comme dans toute description de la Premièreté, c'est de bien différencier le pépin comme illustrant la possibilité d'être de la pomme en tant qu'élément de sa description, du pépin comme représentant potentiel de la pomme en devenir. Cette dernière caractérisation est Tierce : pépin-pomme-processus biologique. Pour rendre les catégories de manière plus simple encore, disons ceci : la pomme est une pomme en tant qu'elle est elle-même (Premier) ; elle est une pomme en tant qu'elle n'est pas une table (Second) ; et elle est une pomme en tant qu'elle a été produite par un pommier (Tiers). Tous ces caractères font d'elle une pomme, mais chacun à sa manière.

Ces catégories teintent toute la philosophie de Peirce. Un travail peircéen comme le nôtre est inévitablement orienté par la triple perspective qu'elles imposent. De plus, leur rôle dans la classification des signes rend les catégories indispensables à la discussion des niveaux de représentation que nous entreprendrons au chapitre suivant.

La Premièreté apparaît comme la plus évasive des catégories pour plusieurs auteurs (p. ex. Rosenthal, 2001). D'autres se plaignent du manque de recherche concernés par la Tierceté (p. ex. Theleffsen, 2000). Les Tierceté et Secondeté semblent peut-être plus naturelles au contexte de la recherche scientifique. Elles énoncent la dualité particulier-général, observation-loi, qui alimente une

dichotomie fondamentale en philosophie des sciences. Par définition, la Premièrereté n'est pas *présente* dès lors que l'analyse débute : nous ne percevons et n'analysons que des signes actualisés, des Seconds. La Premièrereté n'est que passée comme trace dans le phénomène actuel. La Tierceté a aussi cette qualité de n'apparaître qu'indirectement. Toutes deux sont raisonnables, mais elles requièrent de l'inférence pour être déterminées. Toutefois, la Premièrereté semble clairement identifiée et validée dans plusieurs formes d'analyse : surtout celles réalistes, mais aussi dans la conception rationaliste de l'intelligibilité positive (*l'a priori* comme possibilité rationnelle singulière) et dans la notion traditionnelle d'objectivité. Nous explorerons dans la prochaine section comment la Premièrereté se résout, ou plutôt se dissout, dans le cadre de la pensée de Foucault. Nous verrons alors que son caractère élusif contribue à une contrainte conceptuelle de Foucault et comment le philosophe fonde sa version de la méthode archéologique à travers ce biais.

LE DUALISME SURPRENANT DE FOUCAULT

Chez Foucault, comme nous l'avons vu, ce sont les conditions de possibilité qui sont recherchées : le réseau de pouvoir qui forme les structures du savoir. Il nomme l'objet de ses recherches la *FORMATION DISCURSIVE*, « évitant ainsi les mots trop lourds de condition et de conséquences, inadéquats d'ailleurs pour désigner une telle dispersion » (AS 56-57). C'est à travers elle que les énoncés se diffusent. Dans ce concept, Foucault adopte la notion de condition au sens de nécessité formative, de clause, mais il rejette son sens d'état général essentiel à la constitution. Il cherche à établir les formes du conditionnement du discours. Souvenons-nous qu'il ne cherche pas les origines, mais il étudie le discours au moment même de son surgissement dans la sphère sociale. Une analyse étymologique, même superficielle, du terme archéologie nous permettra d'illuminer cette distinction de manière utile.

Archéologie possède une double racine grecque : *arche* et *archi*. De cette double étymologie, Foucault ne retient que la racine d'ἀρχηγός ou d'ἀρχων [*archigos* ou *archon*] qui réfère au chef ou au pouvoir. Il récuse la racine d'ἀρχαίος [*archaios*] qui signifie ancien ou à l'origine. (Lawlor, 2003, pp. 24 +) Il fait de l'archéologie l'étude du pouvoir, du contrôle, de la règle, de la formation plutôt que la science de l'origine, de l'essence, du fondement, de la source. Dans la nomenclature peircéenne, il nous semble que ce glissement, opéré par Foucault, constitue une éclipse de la Première tiercéité pour concentrer les efforts sur la Tiercéité.

Ce voile que Foucault étend, volontairement, devant le Premier se confirme dans son approche qui veut faire de tout un singulier au lieu de décrire le singulier en tout. L'histoire des connaissances conditionne leur état actuel plutôt que de constituer leur origine passée. Foucault ne décrit que ce qu'il perçoit de singulier dans la tension actuelle et présente entre les énoncés et les conditions où tout est contingent et conforme à la régulation de l'épistémè. Il qualifie la forme des études entreprises dans ses livres de problématisation :

Problématisation ne veut pas dire représentation d'un objet préexistant, ni non plus création par le discours d'un objet qui n'existe pas. C'est l'ensemble des pratiques discursives ou non discursives qui fait entrer quelque chose dans le jeu du vrai et du faux et le constitue comme objet pour la pensée (que ce soit sous la forme de la réflexion morale, de la connaissance scientifique, de l'analyse politique, etc.). (DE2 1489; "Le souci de la vérité", *Magazine littéraire*, 1984)

Nous proposons, à la lumière de cette caractérisation de sa méthode, que Foucault élabore un dualisme différent en réaction au dualisme classique sujet-objet. Ce dualisme de Foucault s'articule sur l'axe du savoir conditionnant – Tiers –, et du pouvoir effectif de conditionnement – Second – de la connaissance actuelle. Peirce offre une métaphore qui illustre bien, selon nous, la dichotomie foucauldienne : « Law, without force to carry it out, would be a court without a sheriff; and all its dicta would be vaporings. » (EP2 120; CP 1.212; MS 427; "On Science and Natural Classes", 1902) Selon

cette métaphore, la cour représente la loi, le Tiers, et le shérif représente l'opérant qui actualise la loi, le Second. Entretenant la même métaphore chez Foucault, le Second apparaît dans les énoncés spécifiques et les discours particuliers, les dispositifs – le shérif –, et ceux-ci permettent à l'archéologue de décrire, par analogie comme nous l'avons vu, la formation historique, l'*épistémè*, qui se trouve dans le domaine de la Tierceté – la cour.

Selon Foucault, la question propre à l'analyse de la pensée se formule ainsi : « quelle est donc cette singulière existence, qui vient au jour dans ce qui se dit, — et nulle part ailleurs ? » (AS 43) Face aux conséquences d'une telle interrogation, Agamben se questionne : « Mais comment un *a priori* peut-il apparaître et exister historiquement ? Et de quelle façon est-il possible d'y avoir accès ? » (2008, p. 108) Comme nous l'avons mentionné plus haut, cette apparition historique paraît paradoxale à Agamben. Pourtant, selon notre cadrage peircéen de la méthode archéologique, il semble que la condition formatrice du discours – l'*a priori* – soit toujours présente. Elle n'apparaît pas spontanément, ni paradoxalement. Effectivement, les discours que l'*a priori* rend possibles s'actualisent constamment, mais il s'agit ici du Tiers, et non du Premier. Encore, Foucault ne s'intéresse pas à l'origine, à la vérité universelle actualisée dans les énoncés, mais plutôt aux forces qui contrôlent la possibilité même d'actualisation, ou de validation, des discours dans leur présent spécifique.

Mais alors, pourquoi Foucault n'analyse-t-il pas la Première-té ? Premièrement, il serait possible de proposer que Foucault ne conçoit pas la nature triadique des relations puisqu'il demeure prisonnier de l'habitude de pensée dualiste. Une autre raison, probablement plus importante encore, qui explique pourquoi Foucault ne porte pas attention à la Première-té consiste en ce qu'il veut maintenir, fondamentalement, une doctrine de la singularité généralisée. (Veyne, 2008, pp. 21-22) Tout est

singulier pour lui, c'est l'axiome principal de son traitement paradigmatique des discours. Sa méthode de raisonnement par analogie n'est pas adaptée à l'élaboration de notions universelles, de vérité. Donc, dans l'ontologie implicite de Foucault, il n'y a pas d'universaux. Seuls s'y trouvent les cas particuliers – singuliers selon lui – d'énoncés et certains cas généraux très faibles et arbitraires en mouvement constant. Ainsi, Foucault échange la Première⁴⁴ – *a priori* originel, possibilité universelle, réalité fondamentale – dans la dualité traditionnelle du rationalisme et du structuralisme européen pour la Tierce⁴⁴ – *a priori* comme pouvoir, conditionnement, formation. Voilà sa contribution originale : il élimine les possibles universels et met l'accent sur les conditionnements de la possibilité.

DU DISCOURS SINGULIER AU SIGNE FONDAMENTAL

Nous présentons d'abord un schéma comparatif des positions épistémologiques de Foucault et de Peirce. Dans la pensée de Peirce, la croyance [*belief*] ponctuelle doit, pour être validée, s'aligner à la réalité, elle doit être testée. Elle finit par constituer, éventuellement, avec les efforts concertés de la communauté des chercheurs, la vérité. La réalité, elle, n'est pas affectée par les opinions qu'on s'en fait. Par contre, le maintien de la croyance ne se fait pas uniquement par validation, mais souvent par habitude ou accoutumance [*habit*]. Une croyance qui nous est utile durant un bon moment ou qui demeure incontestée s'installe de manière solide dans l'univers de nos réflexions. Finalement, dans la conception pragmatique peircéenne, cette croyance validée par accoutumance détermine nos actions, sert à établir le fondement de notre intention [*purpose*].

Maintenant, si nous comparons ce schéma à la conception de Foucault, nous constatons que les rôles s'inversent. Pour Foucault, c'est le pouvoir⁴⁴ qui détermine l'intention. La répétition de l'intention à travers nos actions – spécifiquement pour Foucault nos actes de discours – permet d'établir des

44 Autant le pouvoir *social* par les dispositifs de contrôle (sp) que le pouvoir *personel* par le contrôle de soi (ss).

traditions, ou des accoutumances, qui elles-mêmes fondent l'*épistémè*. Ainsi, les traditions déterminent, conditionnent et forment les croyances – dans les termes de Foucault la vérité ou les énoncés vrais. Ainsi, pour Foucault la validité d'un énoncé débute par le pouvoir tandis que pour Peirce elle se pose par évaluation devant la réalité et par accoutumance. L'épistémologie peircéenne se fonde sur la méthode scientifique et sur un réalisme explicite.

Ainsi Peirce pose une certaine régularité essentielle réelle⁴⁵ que Foucault rejette, ou plutôt choisit d'ignorer.⁴⁶ Ils voulaient tous deux expliquer comment les énoncés peuvent sembler valides malgré qu'ils changent et se contredisent dans l'histoire de la pensée. Mais contrairement à Peirce, Foucault ne cherche pas à savoir si nous connaissons le monde, mais seulement les règles qui régissent les mécanismes de fonctionnement de la connaissance. Quand Foucault propose que :

Le sujet de connaissance a lui-même une histoire, la relation du sujet avec l'objet, ou, plus clairement, la vérité elle-même a une histoire. (DE2 539; "La vérité et les formes juridiques", *Cadernos da P.U.C.*, 1974)

Il indique que la condition déterminante de la véracité d'un discours change, se transforme, évolue dans le temps. Ainsi, pour lui la vérité devient en quelque sorte arbitraire. Mais sa conception n'est peut-être pas assez fondamentale, pas assez rigoureuse. Peirce maintient une description logique et stricte de la vérité, et il cherche alors la validité des énoncés ailleurs que dans la vérité pure qu'il

45 Cette position n'est pas absolue. La cosmologie de Peirce est très complexe, nous pouvons la caricaturer ainsi. En critique du dualisme classique esprit-matière Peirce propose une doctrine cosmologique de la continuité, le *synéchisme*. Il y ajoute une doctrine de la chance, le *tychisme*, qui stipule qu'il y a de la créativité, du spontané et de l'aléatoire dans le monde, que tout n'est pas déterminé par la loi. Finalement, il pose une doctrine téléologique, l'*agapisme*, qui postule que l'évolution du monde a une direction : la direction est l'établissement de régularité à travers la loi de l'accoutumance [*habit*]. Il y a donc, au-dessus des efforts humains d'investigation, trois forces réelles – de la réalité – qui contrôlent la fixation de la croyance.

46 Ici Deleuze interprète littéralement l'éclipse du réel de Foucault en l'établissement d'une ontologie du savoir. Il prétend que Foucault propose de « convertir la phénoménologie en épistémologie » (1986, p. 117). Plus loin : « Tout est savoir, et c'est la première raison pour laquelle il n'y a pas d'expérience sauvage : il n'y a rien avant le savoir, ni en dessous. » (1986, p. 117) Et finalement : « Le savoir est être, c'est la première figure de l'être... » (1986, p. 119)

conserve à titre de but ultime, mais toujours inatteignable et même incertain. Il évite alors toute forme de relativisme, parfois reproché aux conceptions comme celle de Foucault. Mais cette critique ne peut pas être totale dans ce cas. Car Foucault ne refuse jamais catégoriquement la réalité à laquelle se compare les propositions, il pose plutôt un problème qui lui permet de demeurer agnostique face à la réalité. Il adopte une position sur un axe différent : « Foucault est nominaliste » (Veyne, 2008, p. 19). Ian Hacking, autre héritier philosophique de Foucault, explique :

Idealism is a thesis about *existence*. In its extreme form it says that all that exists is mental, a production of the human spirit. Nominalism is about *classification*. It says that only our modes of thinking make us sort grass from straw, flesh from foliage. The world does not have to be sorted that way; it does not come wrapped up in 'natural kinds'. (Hacking, 1983, p. 108)

Au lieu de devoir affronter la réalité et y prendre position – idéaliste ou réaliste –, Foucault propose que les choses ne possèdent pas de qualités réelles, mais que nous les classons, historiquement, suivant nos discours. Hacking encore : « Foucault propounds an extreme nominalism: nothing, not even the ways I can describe myself, is either this or that but history made it so. » (2004, p. 83) Les choses prennent dans notre esprit la forme que l'histoire détermine pour elles, par exemple

l'homosexualité :

C'est l'idée que le nom « homosexualité » n'a pas de signification dans l'absolu, en tant que tel. Il ne prend sens que dans un site historique, en un temps et un lieu, avec des pratiques et des préoccupations spécifiques. Et toujours dans un discours... Il y a une histoire dans laquelle les noms ont des effets. Pas simplement les effets ontologiques auxquels Nietzsche nous a rendus attentifs. Des effets de pouvoir sur les individus, mais aussi des effets de pouvoir des individus sur les classifications. Des effets répressifs, mais aussi la *gay pride*. (Hacking, 2006, p. 10)

Ainsi pour Foucault, surtout dans ses travaux plus récents, la connaissance n'évolue pas, dans un sens téléologique, elle ne s'approche pas d'un but ; ni de la vérité, ni de la dominance d'une classe particulière. Elle se transforme plutôt de manière aléatoire à travers les variations des tensions entre sujet et pouvoir.

Plutôt que de s'attarder à la question du réel, le problème que Foucault formule c'est celui de l'« homme », de son assujettissement. Le travail de Foucault consiste en une analyse des mécanismes élaborés dans le but de produire et de maintenir un savoir contrôlant et un pouvoir effectif qui déterminent la constitution de sujets. Il applique son analyse pointue à une variété de thèmes, mais il cherche toujours à saisir les mécanismes de production de savoir sur et par l'homme (humain) :

Plutôt que le souci uniforme de cacher le sexe, plutôt qu'une pudibonderie générale du langage, ce qui marque nos trois derniers siècles, c'est la variété, c'est la large dispersion des appareils qu'on a inventés pour en parler, pour en faire parler, pour obtenir qu'il parle de lui-même, pour écouter, enregistrer, transcrire et redistribuer ce qui s'en dit. (vs 47)

Foucault démontre ici le conditionnement de ce qui se dit sur le sexe : non pas un contrôle commandé par un individu ou un collectif possédant le pouvoir, mais plutôt une dimension arbitraire ou chanceuse qui dirige le discours dans une direction indéterminable au préalable et déterminante en aval. Un peu comme un cours d'eau qui établit son lit : le chemin exact est déterminé un peu par le terrain, un peu par la chance, mais une fois le lit de la rivière établi, il faut de l'énergie pour le déplacer. Foucault parle de sexe, de discipline, de folie, mais cette opération s'applique à tout objet, à tout signe et surtout à tout *sujet* connaissant.

C'est l'« homme » qui est le lieu double de la connaissance : « L'homme, dans l'analytique de la finitude, est un étrange doublet empirico-transcendantal, puisque c'est un être tel qu'on prendra en lui connaissance de ce qui rend possible toute connaissance. » (MC 329) Ici nous retrouvons encore l'influence de Kant sur Foucault et nous retrouvons aussi la dualité homme-monde du rationalisme cartésien. Il ajoute :

C'est pourquoi la pensée moderne n'a pas pu éviter — et à partir justement de ce discours naïf — de chercher le lieu d'un discours qui ne serait ni de l'ordre de la réduction ni de l'ordre de la promesse : un discours dont la tension maintiendrait séparés l'empirique et le transcendantal, en permettant pourtant de viser l'un et l'autre en même temps ; un discours qui permettrait d'analyser l'homme comme sujet, c'est-à-dire comme lieu de connaissances empiriques mais

ramenées au plus près de ce qui les rend possibles, et comme forme pure immédiatement présente à ces contenus... (MC 331)

Selon nous, Peirce a proposé exactement ce discours médian souhaité par Foucault. Pour Peirce, il y a ajustement perpétuel de la croyance par ses méthodes de fixation à l'émergence du doute, et cet ajustement est téléologique, sa fin : la Vérité. Même si les particularités changeantes des notions, des objets, des croyances ne désignent pas pour Foucault un processus généralisé comme pour Peirce, il admet tout de même que les conditionnements sont multiples :

Toute action morale, c'est vrai, comporte un rapport au réel où elle s'effectue et un rapport au code auquel elle se réfère ; mais elle implique aussi un certain rapport à soi ; celui-ci n'est pas simplement « conscience de soi », mais constitution de soi comme « sujet moral »... (UP 40)

Il dirige toutefois ses propres travaux ailleurs que vers la résolution d'une orientation générale de la connaissance. De plus, nous retrouvons, dans ce Foucault plus récent, un cadre triadique s'approchant du pragmatisme de Peirce. Cependant, plutôt que de rendre le discours élémentaire et de situer sa réflexion au centre du domaine discursif comme Foucault, Peirce part du signe.

Pour Peirce, bien que les phénomènes soient singuliers, les signes qui en résultent restent particuliers parce qu'ils participent à un esprit particulier, lui-même étant d'un sujet individuel. Il distingue ainsi le terme singulier :

A singular may mean that which can be but in one place at one time. In this sense it is not opposed to general. (EP1 47; W2 233; CP 5.299; "Some Consequences of Four Incapacities", *Journal of Speculative Philosophy*, 1868)

Dans les termes peircéens, tous les signes semblent singuliers pour lui parce que Foucault analyse les occurrences spécifiques de ces signes. Mais Peirce maintient que ces cas d'occurrences actualisent des généraux réels dans la conception, leur singularité est donc particulière. Peirce poursuit le passage cité ci-haut :

When an image [ou une conception] is said to be singular, it is meant that it is absolutely determinate in all respects. Every possible character, or the negative thereof, must be true of such

an image. (EP1 47; W2 233; CP 5.299; "Some Consequences of Four Incapacities", *Journal of Speculative Philosophy*, 1868)

Or, pour élaborer une conception véritablement singulière, il faut arriver à faire fi de toute référence à des généraux ou à des notions partagées avec d'autres conceptions. Cette approche épistémologique est humainement impossible.⁴⁷ Nous avons nécessairement besoin de généraux. Peirce concède que les phénomènes sont singuliers, sont seuls avec eux-mêmes dans leurs déterminations. Par contre, nos conceptions des phénomènes conjurent inévitablement des généraux et sont donc particulières, et non singulières comme suggéré par Foucault.

Dans la doctrine épistémologique de Peirce, les signes généraux – les lois de la physique par exemple –, auxquels mènent la rationalisation des signes particuliers, doivent être déterminés et raffinés par la validation avec la réalité de ce qu'ils proposent jusqu'à ce que ces signes généraux atteignent la Vérité : le but utopique de la recherche. Ces signes de Peirce forment une unité plus fondamentale que les discours de Foucault. Les énoncés, qui composent les discours dans le système de Foucault, constituent une classe particulière de signe. Loin de limiter son analyse au domaine humain du savoir, Peirce cherche à typifier toutes les formes qui permettent la pensée. Et finalement, tout comme Foucault où le sujet se constitue par ses actes discursifs et le concept d'homme est « une invention récente » (MC 398), Peirce défend que l'homme est un signe :

... the word or sign which the man uses is the man himself. For as the fact that every thought is a sign, taken in conjunction with the fact that life is a train of thought, proves that man is a sign; so, that every thought is an *external* sign, proves that man is an external sign. That is to say, the man and the external sign are the identical, in the same sense in which the words *homo* and *man*

47 Elle s'approche en quelque sorte de la notion de *pleine conscience* dans le bouddhisme zen. Foucault découvre peut-être une forme d'universalité dans une expérience de méditation qu'il décrit de la sorte : «... si j'ai pu sentir quelque chose à travers la position du corps dans la méditation zen, c'est-à-dire la position juste du corps, ce sont de nouveaux rapports qui peuvent exister entre l'esprit et le corps et, en outre, de nouveaux rapports entre le corps et le monde extérieur. » (DE2 621; "Michel Foucault et le zen : un séjour dans un temple zen", *Umi*, 1978)

are identical. (EP1 54; W2 241; CP 5.314; “Some Consequences of Four Incapacities” *Journal of Speculative Philosophy*, 1868)

SÉMIOTIQUE : THÉORIE DU SIGNE

L'entité élémentaire de la philosophie de Peirce est le signe. Selon lui, la pensée se déplace à travers la manipulation constante et progressive des signes que l'on transforme et qui évoluent dans le processus. Peirce appelle ce mouvement la sémiose [*semiosis*] et l'étude des signes eux-mêmes la sémiotique [*semeiotics*]. Toute l'œuvre de Peirce réfère au signe, et la sémiotique représente pour lui la science logique la plus précieuse et la moins bien développée. Ainsi, il voyait son effort personnel de clarification de l'étude des signes comme nécessaire et fondamental à l'avancement de la connaissance, et il expliquait ses propres difficultés à bien communiquer sa doctrine par sa nouveauté pour ses contemporains. Nous concluons donc ce chapitre avec une courte introduction à la sémiotique peircéenne. Nous verrons ensuite, dans le prochain chapitre, comment le cadre que nous aurons développé ici nous servira à décrire la variété des représentations des atomes dans les revues de vulgarisation.

Le SIGNE est pour Peirce une entité triadique complexe. Sa nature relationnelle, triple et schématique rend la notion relativement difficile à exposer.⁴⁸ Peirce propose une multitude de définitions du signe.⁴⁹ Voici une de ces définitions classiques faisant référence aux catégories :

A Sign, or Representamen, is a First which stands in such a genuine triadic relation to a Second, called its Object, as to be capable of determining a Third, called its Interpretant, to assume the same triadic relation to its Object in which it stands itself to the same Object. (EP2 272-273; CP 2.274; MS 478; “Sundry Logical Conceptions”, 1903)

Peirce échange libéralement, malheureusement, les deux concepts, signe et representamen en utilisant les mêmes deux expressions indistinctement pour signifier l'un ou l'autre. Nous tenterons

⁴⁸ D'autant plus si l'on possède une familiarité quelconque avec le signe structuraliste : signifiant, signifié.

⁴⁹ Robert Marty identifie 76 définitions spécifiques auxquelles Alfred Lang en ajoute 12 autres. (Marty et Lang, 1996)

d'être plus stricts que Peirce. Habituellement, Peirce identifie le terme *representamen* à l'élément Premier du signe qui sert de véhicule à la signification, tandis que le terme *signe* signifie l'entité triadique fondamentale complète. Pour éviter toute confusion, nous choisissons un autre terme utilisé par Peirce pour signifier le Premier du signe, le *fond*⁵⁰; éliminant le mot ambiguë *representamen*, et réservant le mot *signe* pour le processus de sémiologie et l'entière triade.

Or, le signe se compose d'abord d'un *fond* qui n'est autre que l'objet ou le phénomène qui génère dans l'esprit du penseur une instance de signification ou de cognition, une pensée, une idée. Le fond acquiert une signification lorsqu'il participe au processus d'un signe. Il adopte alors une relation avec l'*objet* du signe, qui consiste en un autre phénomène auquel nous pouvons dire que le *fond* réfère dans le signe. Cette relation entre le *fond* et l'*objet* trouve son écho dans la relation s'établissant du même jet entre le *fond* et l'*interprétant*. L'*interprétant* est le nouveau signe, si l'on veut, qui inscrit dans l'esprit du penseur un simili de la relation *fond-objet* instaurée à travers le signe.⁵¹ L'*interprétant* étant lui-même un signe, il possède ses propres *objet*, *fond* et *interprétant*. Ainsi, la signification prend forme dans le signe selon la forme indiquée par le mouvement de l'esprit à travers les relations fond-objet et fond-interprétant. Les constantes révisions et réorganisations de cette chaîne relationnelle de signification constituent, dans le modèle peircéen, la pensée ou la SÉMIOSÉ.

Peirce élabore une typologie des signes selon le genre de relation manifestée entre leurs éléments constitutifs. Il élabore trois trichotomies de relations qui servent de piliers autour desquels nous

50 Nous traduisons, peut-être vaguement, le terme *ground*. Nous essayons, autant que possible, de réduire la complexité terminologique employée par Peirce dans ces diverses discussions et descriptions du signe.

51 Il faut éviter de confondre l'interprétant du signe et l'interprète humain de la signification. L'interprétant est un nouveau signe entier inscrit dans un esprit interprète, mais il ne s'agit pas de l'interprète lui-même. Cette distinction deviendra plus importante dans la discussion de la théorie de la communication que nous entreprendrons dans un autre chapitre.

pouvons classer les signes. Chaque élément du signe peut mettre en évidence l'un de trois types de relation : monadique, dyadique ou triadique. La première division spécifie lequel des trois types de relation est manifesté par le *fond* en rapport à lui-même. La deuxième division s'intéresse au rapport entre le signe et son *objet*. Finalement, la troisième division permet d'identifier les différents modes de représentation possibles de l'*interprétant*. L'analyse logique des possibilités de combinaisons des trois types de relations dans un signe individuel permet à Peirce de conclure que tout signe s'inscrit dans l'une de dix classes.⁵² Cette typologie du signe tente de permettre la description de tous les types de signification, mais, comme nos figures d'atomes ne varient que sur un des trois axes de classification, nous concentrerons principalement notre explication sur la deuxième division.

Ainsi, la deuxième division permet de qualifier la relation entre le signe et son *objet*. Dans le cas où le signe représente l'*objet* de manière conventionnelle ou conditionnée, Peirce appelle le signe un **SYMBOLE**. Le symbole signifie alors de manière arbitraire et selon une entente entre les participants à la signification. Tous les signes culturels sont des symboles dans ce sens : le feu de circulation rouge, par exemple, signifie par convention que les automobilistes, les piétons et les cyclistes doivent s'arrêter pour laisser leurs concitoyens passer dans l'autre direction.

Lorsque le signe réfère à son *objet* à travers un rapport physique ou causal direct, il devient **INDICE**.

L'indice signifie son *objet* par différenciation, grâce à la trace de l'impact de l'*objet* ou par un effet de celui-ci restant dans le signe d'une manière ou d'une autre. La fumée comme indice du feu, la ligne

52 Trois trichotomies de relations donneraient mathématiquement 27 classes de signes ($3^3 = 27$), mais toutes les combinaisons ne sont pas logiquement possibles, donc Peirce élimine les cas impossibles et ne conserve que dix classes. Notons que Peirce a commencé à élaborer un système de classification beaucoup plus complexe à la fin de sa vie dans lequel il propose 66 classes de signe tirées de dix trichotomies. Cette multiplication des classes est entre autres due à sa division des interprétants et des objets mentionnée ci-haut. Nous reviendrons plus loin sur la version complexe des composants du signe, mais nous omettons le système à 66 classes puisqu'il n'était pas encore entièrement satisfaisant à la mort de Peirce.

comme indice du crayon, la photographie comme indice de la scène capturée sont des exemples typiques. Contrairement au symbole, l'indice signifie son objet selon un rapport causal nécessaire, ou du moins selon une cause provenant clairement du sens commun.

Le troisième type de relation de cette trichotomie consiste en l'identification de l'*objet* et du *fond*. Ceux-ci deviennent en quelque sorte une monade dans le signe qui est alors appelé ICÔNE. Son *fond* et son *objet* s'associent naturellement ou nécessairement. La plupart des auteurs parlent de similarité ou de ressemblance pour qualifier la relation iconique, mais Jean Fisette (1996 ; 2009) insiste qu'une lecture rigoureuse des catégories appliquées à la classification des signes indique que la similitude ne définit pas l'icône de façon satisfaisante.⁵³ Selon lui, pour que l'icône puisse mobiliser la Première, l'*objet* et le *fond* doivent véritablement s'unir, doivent ne faire qu'un, dans l'icône. Ainsi, des exemples d'icônes se trouvent non seulement dans le portrait ou la poubelle sur l'écran d'ordinateur, mais aussi, et surtout, dans la peinture non-figurative et la musique instrumentale où il ne semblent pas vraiment y avoir d'*objet*. (Fisette, 2009, p. 5) En résumé, une relation signe-objet Première caractérise une icône, une relation Seconde, différentielle et causale, caractérise un indice, et une relation Tierce ou conventionnelle caractérise un symbole.

La manière dont le signe est représenté dans l'*interprétant* détermine la troisième division des signes. Il s'agit en quelque sorte de spécifier l'utilité du signe dans le processus de communication ou de raisonnement. La première relation de ce niveau réfère au signe comme démontrant une possibilité ou un potentiel, un Premier. Ainsi, si l'*objet* est considéré comme un virtuel non actualisé ou comme une identité singulière dans l'*interprétant*, le signe est un RHÈME. L'exemple le plus simple donné par

53 Nous pouvons peut-être tracer la préférence généralisée pour une interprétation de la relation iconique proche de la similitude au premier grand texte de Peirce "On a New List of Categories" (EP1 7; W2 56; CP 1.558; présentation à la *American Academy of Arts and Science*, 1867) où il réfère à ce genre de relation par le terme *Likeness*.

Peirce du rhème demeure le nom commun : un signe qui sert de signe seulement en lui-même.

Lorsque le signe semble signifier un fait, une réalité existante et particulière, il s'agit d'un DICENT.

L'*interpretant* détermine alors la signification comme une relation à une actualité distinguable. Par exemple : la phrase « il pleut » interprétée comme signifiant qu'il pleut effectivement est un dicent.

Contrairement au rhème « la pomme » qui ne signifie qu'en lui-même, le dicent « la pomme est mûre » peut être dit vrai ou faux. Finalement, l'ARGUMENT décrit un signe entendu comme signifiant par

nécessité ou détermination ou par quelque loi. Les formes de raisonnement ou d'inférence que nous avons exposées plus haut sont toutes des signes de type argument. Lorsque l'*objet* est pris pour une nécessité, le signe est une déduction. S'il est considéré comme une évidence, il s'agit d'une induction.

Lorsque l'on y voit une probabilité, le signe est une abduction. Enfin, lorsque l'*objet* est interprété comme une simple forme déterminante, le signe est une prédiction. Ce troisième niveau de

classification des signes, selon leur *interpretant*, constitue aussi pour Peirce la spécification des

entités élémentaires du raisonnement. Si l'*interpretant* est simple et Premier, le signe est rhème et

Peirce l'appelle aussi un terme ; s'il est dual et Second, le signe est dicent et devient une proposition ;

finalement, si la relation est complète et Tierce, nous parlons alors d'un argument en bonne forme.

Peirce aligne donc la trichotomie terme, proposition, argument de la logique classique à son système de signes par l'*interpretant*.

Des combinaisons possibles de ces trois niveaux triadiques de relations entre les trois éléments du signe Peirce tire dix classes de signes. Nous en retenons quatre qui seront utiles dans la discussion

qui suit au chapitre suivant. Nous exposons ces quatre brièvement pour conclure le chapitre.⁵⁴ Nous

54 L'ordre de présentation des classes n'importe pas. Dans cette section, nous paraphrasons principalement deux sources peirciennes : le texte de 1903 "Nomenclature and Divisions of Triadic Relations, as Far as They Are Determined" (EP2 289-299; CP 2.233-272; MS 540) et la lettre de Peirce à Lady Welby datée du 12 octobre 1904 (S&S 22-36).

donnerons en outre, pour chacun, un schéma reprenant les catégories relationnelles discutées plus haut pour le fond, l'objet et l'interprétant.

En premier lieu, lorsque le signe est composé d'un *fond* qui indique son *objet* en vertu d'un caractère particulier que les deux possèdent, Peirce l'appelle un SINSIGNE ICONIQUE.

Fond Premier – Objet Premier – Interprétant Second

Par exemple, le *Requiem* de Mozart peut être considéré comme un signe de la révérence. La forme de la composition se veut similaire à l'expérience du deuil religieux. La correspondance se situe dans l'essence. Dans le cas des figures de l'atome, nous qualifierons les figures qui utilisent la forme classique de l'atome de Rutherford pour signifier le thème de la science ou de la technologie de sinsignes iconiques. La figure de l'atome n'a généralement aucun référant extérieur à la physique, à l'astronomie ou à l'ingénierie. Ce caractère spécifiquement scientifique de la figure sert à signifier la science ou la technologie dans nombre de cartes et de schémas.

Ensuite, le signe est dit LEGISIGNE ICONIQUE lorsqu'il consiste en une catégorie générale qui indique par communion entre le *fond* et l'*objet*.

Fond Premier – Objet Premier – Interprétant Tiers

Un exemple donné par Peirce est un diagramme⁵⁵ ou une carte. Lorsque le *fond* correspond visiblement⁵⁶ ou structurellement à l'*objet*, le signe est iconique. Ce qui le distingue du sinsigne iconique, par contre, c'est le caractère schématique du fond. Le fond ne partage pas l'essence de l'objet, mais plutôt il en présente une simplification. Le but du signe est de simplifier et de développer une forme conventionnelle, ou adaptée, de l'objet. La plupart des figures d'atomes sont présentées

55 Au sens de représentation graphique schématique des éléments d'une chose complexe.

56 Nous devrions dire sensiblement, puisque le son ou toute autre forme de stimulation sensible peut posséder une similitude signifiante et constituer un signe iconique.

comme des légisignes iconiques. Mais, comme nous le présenterons au prochain chapitre, il semble que cette proposition soit problématique.

Le signe qui indique son *objet* de manière conventionnelle et singulière est dit SYMBOLE RHÉMIQUE.

Fond Premier – Objet Tiers – Interprétant Tiers

Le terme en logique est de cette classe, ainsi que les noms communs. Se trouve dans ce mode tout signe dont la signification provient de l'entente, de la convention, de la loi. Les drapeaux nationaux, les insignes policières, les uniformes sont tous des symboles rhémiques. Encore, nous démontrerons au prochain chapitre que bien qu'elles soient souvent présentées comme des légisignes iconiques, les figures de l'atome publiées dans les magazines de vulgarisation sont habituellement des symboles rhémiques. Nous clarifierons cette distinction plus loin.

Finalement, nous reprendrons le SINSIGNE DICENT du corpus de classes de signe de Peirce.

Fond Second – Objet Second – Interprétant Second

Il s'agit d'une chose de l'expérience, le *fond*, accordant directement et nécessairement de l'information à propos d'une autre chose, l'*objet*. Selon Peirce le signe de ce type ne peut accomplir sa tâche que s'il possède une relation directe, affective, avec son *objet*, il doit donc être un indice : comme c'est le cas de la girouette ou de la boussole. Lorsque l'objet laisse une trace ou une marque, et que cette trace devient le fond d'un signe, il s'agit d'un sinsigne dicent. Les figures directes d'atome, comme celles produites avec des microscopes à résolution atomique, se trouvent dans cette catégorie.

La taxonomie des signes telle qu'entreprise par Peirce dans le cadre de sa grammaire spéculative dépasse grandement notre exposition. Non seulement décrit-elle plusieurs autres classes de signe, elle nous permet aussi de comprendre la variété des modes de relations possibles articulés dans la signification. Notre discussion a aussi permis de reprendre et d'actualiser l'importance des catégories

phanéroskopiques pour Peirce. Laissons les mots du philosophe Eugene Freeman nous rappeler leur rôle fondamental dans toute sa philosophie :

Peirce's categories, rooted in his symbolic logic, supporting his esthetics and ethics, spreading out in the firm branches of his descriptive logic, and blossoming into the flowers of his metaphysics, trace out, in their symmetrical ramifications, the pattern of his entire system of philosophy. (Freeman, 1937, p. 13)

Le système philosophique peircéen est entièrement imprégné de la modulation réflexive imposée par cette triade. Et, compte tenu de notre adoption de sa philosophie, cette modulation conditionne inévitablement le regard que nous posons sur la méthode de Foucault, et s'impose à l'analyse archéologique que nous proposons des figures populaires de l'atome. Nous entreprenons maintenant cette analyse dans le contexte spécifique des figures de l'atome découvertes dans les revues étudiées.



CHAPITRE IV

LES FIGURES DE L'ATOME

e così, figurando il paradiso,
convien saltar lo sacrato poema,
come chi trova suo cammin riciso.

Dante Alighieri
Paradiso, c. 1315

Comme démontré au chapitre précédent, les outils de la sémiotique peircéenne nous permettent de conceptualiser et de cadrer les signes que sont les figures d'atome dans un contexte spécifique de valeurs de relations et de processus d'échanges concrets, logiques et généraux. Nous voulons procéder à une analyse archéologique des figures d'atome recensées afin d'exposer les éléments logiques (propositionnels ou sémiotiques) qui les constituent et ainsi mettre en lumière leurs conditions de possibilité, leur *a priori* historique (au sens foucauldien). Il faut donc découvrir les strates, ou les couches de significations, qui composent les figures. Ces couches, nous les appelons niveaux de représentation, elles constitueront collectivement notre archive.

Nous traitons ces niveaux de représentation comme des signes, et nous les présentons dans le cadre de la sémiose communicationnelle entre le public et les savants. Les figures en elles-mêmes constituent des signes analysables sémiotiquement. Mais, compte tenu de la nature processuelle de la sémiose dans laquelle ces signes évoluent, les figures elles-mêmes sont décomposables en une série de

signes analysables à leur tour. Ce travail d'analyse de second ordre permet de mettre en lumière la complexité du contexte de communication de la notion d'atome, et l'ambiguïté instaurée par cette complexité dans la notion d'atome qui est en effet communiquée.

Nous discuterons donc dans ce qui suit de la théorie de la communication issue de la sémiotique peircéenne mobilisée dans notre travail. Nous élaborerons notre cadre d'analyse des différents niveaux de représentation des entités théoriques. Nous offrirons un survol des différentes formes de figure retrouvées lors de notre recherche et discuterons du statut de ces figures en rapport à notre cadre d'analyse. Nous offrirons aussi un échantillon de figures tirées de notre corpus qui serviront de paradigmes pour notre discussion ; à la fois d'exemples, qui partagent les propriétés des autres figures, et de modèles, les propriétés desquelles conditionnent les autres figures.

LA COMMUNICATION CHEZ PEIRCE

La classification peircéenne des signes selon les trois modes de relations issus des catégories – signe par rapport à lui-même, signe par rapport à son objet, signe par rapport à son interprétant – met en lumière la variété des modes d'interprétation possibles de certaines figures, dont les figures d'atome présentées dans les revues de vulgarisation. Ces figures d'atomes peuvent être interprétées, entre autres, comme représentations de la théorie atomique, comme représentations d'atomes réels (ontologiques), comme symboles simplement conventionnels sans ressemblance à leur objet ou encore comme icônes possédant une similitude structurelle avec l'atome lui-même.

Les multiples interprétations actualisées dans une instance spécifique de communication d'une figure de l'atome doivent, idéalement, établir le pont entre les intentions des créateurs de la figure et les objectifs de ses destinataires. Il y a, par contre, dans ce processus de communication, la possibilité d'une fission entre la classe de signe élaborée par l'énonciateur et celle adoptée par l'interpréteur.

La théorie peircéenne que nous adoptons prend véritablement en compte cette particularité. L'interprétation est un processus distinct de la création. De plus, comme la convention ou l'établissement du sens dans la théorie de Peirce se fait par l'apparition et le maintien d'accoutumances (*habits*), il est possible – et fort probable – que la notion d'atome véhiculée par une figure possède plusieurs significations différentes dans l'esprit des individus qui la côtoient, indépendamment des intentions de ses créateurs. Rappelons que nous n'avons aucune analyse formelle des interprétations spécifiques du public, mais nous voulons porter l'attention sur la possibilité de mésentente entre le message transmis et celui reçu dans le cadre de la communication d'une connaissance théorique par la figure.

La théorie de la communication qui découle de la sémiotique de Peirce décrit le processus de manipulation de la signification des signes dans leur mouvement d'un esprit à un autre : d'un ÉNONCIATEUR (*Utterer*) à un INTERPRÉTATEUR (*Interpreter*).⁵⁷ La communication du message se qualifie par la tension entre ces deux esprits.

Proceeding that way with our definitum, 'sign,' we note, as highly characteristic, that signs mostly function each between two minds, or theatres of consciousness, of which the one is the agent that *utters* the sign (whether accoustically, optically, or otherwise), while the other is the *patient* mind that interprets the sign. (EP2 403, MS 318, "Pragmatism", 1907)

Au moment de l'échange, si le message est correctement rendu, les deux esprits partagent un même espace sémiotique : « two minds in communication are, in so far, "at one," that is, are properly one mind in that part of them. » (EP2 389, "The Basis of Pragmaticism in the Normative Sciences", 1906)

Ce troisième esprit, Peirce l'appelle le COMMENS.⁵⁸ Provenant du fondement triadique de ses

57 Ces deux esprits peuvent très bien être logés dans le même cerveau, c'est le cas de la pensée intime qui pour Peirce n'est pas différenciable de la communication.

58 Ce concept peut être rapproché de la notion de « trading zone » élaborée par Galison (1997) dans le contexte de la collaboration entre la pluralité des cultures en physique.

catégories, comme tout son système, cette théorie peircéenne de la communication reprend avec cohérence la forme triple du signe. (Pietarinen, 2003)

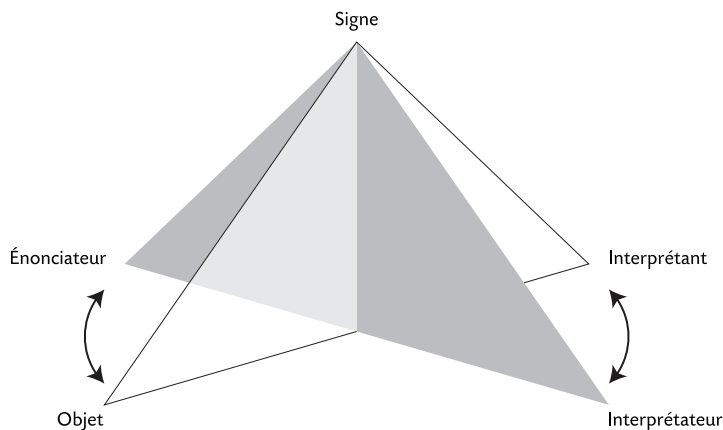


Figure A : Schéma de la communication du signe — L'objectif de la communication est de faire s'aligner l'objet de l'énonciateur avec l'interprétant de l'interpréteur afin de composer le même signe dans les deux esprits. D'après Pietarinen (2003, p. 87).

Souvenons-nous que le signe établit une triple relation entre un objet, lui-même et un interprétant. De manière similaire, l'énonciateur du signe établit une relation triadique entre le signe, lui-même et l'interpréteur. Ainsi, la communication est établie lorsque le signe permet la mise au point de l'objet de l'énonciateur et de l'interprétant de l'interpréteur. [Figure A, p. 67] L'éventuel manque de concordance peut être entendu, à travers la nomenclature de Claude Shannon (1948), comme constituant du bruit. La signification, quant à elle, prend forme pour Peirce lorsque le signe mental (qui résulte de l'interprétant) s'aligne avec une accoutumance établie ou bien contribue à en élaborer une nouvelle.

Ce processus de mouvement de l'esprit d'un signe à l'autre par l'interprétation est appelé SÉMIOSE [semiosis] par Peirce. Selon lui, nous sommes dans les signes, ils ne sont pas en nous :

Accordingly, just as we say that a body is in motion, and not that motion is in a body we ought to say that we are in thought and not, that thoughts are in us. (note dans EP1 42; W2 227; CP 5.289; "Some Consequences of Four Incapacities" *Journal of Speculative Philosophy*, 1868)

Or, la communication passe par l'interprétant. Peirce en décrit trois modes : l'INTERPRÉTANT INTENTIONNEL, celui de l'énonciateur ; l'INTERPRÉTANT EFFECTIF, celui de l'interpréteur ; et l'INTERPRÉTANT COMMUNICATIONNEL, celui du commens.⁵⁹ Dans le cas de la communication populaire de la connaissance sur l'atome, l'intention est de communiquer l'atome tel qu'il est entendu par les physiciens. L'énonciateur scientifique a une compréhension quelconque de l'atome : l'interprétant intentionnel. Le résultat de cette communication est la compréhension de l'atome par le public : l'interprétant effectif.

À l'autre pôle du processus de communication se trouve l'objet. La théorie de l'objet de Peirce distingue clairement l'OBJET DYNAMIQUE ou réel, le phénomène, de l'OBJET IMMÉDIAT, tel que conçu dans un esprit en sémiologie. Ainsi la chose réelle, l'objet dynamique, ne se trouve jamais pleinement dans la sémiologie, elle se retrouve dans le signe sous sa forme sémiotique d'objet immédiat. De plus, «... the object of a sign can be nothing but what that sign represents it to be. » (EP2 477) Et cet objet immédiat prend forme grâce à l'interprétant : « Its Interpretant is all that the Sign conveys: acquaintance with its Object must be gained by collateral experience. » (EP2 480) La complexité du phénomène est interprétée dans l'esprit en sémiologie. Le travail des chercheurs est d'élaborer des objets immédiats toujours plus complexes et compliqués dans le but de rapprocher nos descriptions des objets dynamiques. Comme disait Foucault : « Travailler c'est entreprendre de penser autre chose que ce qu'on pensait avant. » (DE2 1487, "Le souci de la vérité", *Magazine littéraire*, 1984) Foucault ne voyait pas l'aspect téléologique de cette entreprise à cause de son glissement de la Première vers la

59 Pour ces termes et la discussion qui suit, nous référons principalement à une ébauche de lettre de Peirce à Lady Welby datée du 9 mars 1906. (S&S 195-201, EP2 477-478) La terminologie et la théorie de la communication que nous décrivons ici sont pertinentes et cohérentes dans un contexte peircéen, mais elles ne sont pas tout à fait résolues dans la littérature. (Bergman, 2000; Habermas, 1995; Ransdell, 1997) Au-delà de notre application, nous ne cherchons pas spécifiquement à contribuer à ces discussions et nous suivons simplement Peirce.

Tiercéité, mais il s'accorde tout de même avec Peirce, semble-t-il, en ce qui concerne le mouvement de la pensée.

Pour reprendre cette théorie dans le contexte de notre discussion des figures d'atome, à la lumière des résultats de notre étude, il semble que l'atome complexe, probabiliste et incertain décrit par la plupart des physiciens contemporains laisse place à un atome organisé, régulier et même « matériel » (voir plus loin) dans ses représentations populaires. Notre analyse des figures publiées dans les deux revues populaires sélectionnées démontre clairement que l'aspect probabiliste des théories actuelles de l'atome est rarement discuté, et encore moins fréquemment représenté visuellement. Au contraire, la formule graphique simpliste, peut-être réductrice, demeure vastement majoritaire. Donc, nous constatons que l'interprétant communicationnel, déterminant l'esprit commens, n'est qu'une analogie de l'objet dynamique que nous libellons « atome ». Poursuivons l'élaboration de nos outils d'analyse.

LES NIVEAUX DE REPRÉSENTATION

L'objectif de cette partie sera tout d'abord de décrire les niveaux de représentation mobilisés par les figures, ensuite de démontrer comment chacun de ces niveaux peut être entendu selon des modes de signification différents, et finalement de discuter des problèmes potentiels pouvant surgir de la variété des modes de signification dans l'interprétation et la communication de ces signes.

Rappelons que la caractérisation des niveaux de représentation proposée ici se fonde sur notre recensement systématique de quelque 270 figures d'atomes publiées dans deux magazines de vulgarisation scientifique – *Popular Science* et *Science & Vie* – sur une période d'un peu plus d'un demi-siècle. Nous avons ainsi méthodiquement balayé des yeux à peu près 210 000 pages pour trouver ces figures, en plus des multiples autres publications consultées de manière aléatoire et dont les figures

n'ont pas été recensées. Le cadre théorique d'analyse issue de cette étude et proposé dans ce qui suit s'est rapidement imposé comme méthode de classification des figures. Nous l'avons élaboré en parallèle à notre effort de recherche. Les types et les niveaux de représentations identifiés ont été progressivement associés aux figures répertoriées. Les premières figures cataloguées ont éventuellement été revisitées afin de les catégoriser correctement.

Dans un premier temps, avant de discuter des niveaux, nous devons différencier trois types de représentation en matière de figures d'atome.⁶⁰ Or, si nous acceptons que l'atome, objet dynamique, est une réalité représentée, objet immédiat, nous distinguons nos trois types selon leur rôle dans le processus de la représentation de ce phénomène. Exceptionnellement, nous utilisons le mot *IMAGE* pour nommer ces types de représentation.⁶¹ Ces différentes images déterminent et qualifient les différents niveaux de représentation par la variété de leurs combinaisons dans la médiation sémiotique de l'objet-phénomène.

Nous identifions d'abord l'*IMAGE MENTALE*. Il s'agit du concept ou, dans les mots de Peirce, de l'interprétant dynamique⁶² : « The Dynamical Interpretant is whatever interpretation any mind actually makes of a sign. » (CP 8.315, "Letter to William James", 1909) Qu'elle se situe dans l'esprit énonciateur ou dans l'esprit interpréteur, l'image mentale constitue la base de l'interprétation de la signification de l'objet de la représentation. Elle contribue au maintien ou à l'introduction d'accoutumances (*habits*). Nous nommons la deuxième image l'*IMAGE PLASTIQUE*. Dans un cadre

60 Cette catégorisation est applicable selon nous à d'autres objets, qu'ils soient scientifiques ou non.

61 Rappelons que le mot *image* n'est pas retenu pour aucun autre usage dans notre texte. Celui-ci s'avère très ambigu et nous lui avons préféré le terme *figure*. Mais dans le cas de la discussion qui suit, nous trouvons qu'*image* exprime bien le caractère abstrait que nous voulons appliquer aux types de représentations décrits.

62 Il est important de noter que les comparaisons proposées entre les images et les concepts de Peirce ne doivent être entendues qu'à titre d'illustration. Nous ne cherchons pas strictement à faire correspondre nos images aux éléments du signe.

sémiotique plus large nous assignerions l'image plastique au signe lui-même, au représentamen. La figure imprimée, l'illustration, la sculpture, la peinture sont toutes des images plastiques dans ce sens.⁶³ L'image plastique peut prendre plusieurs formes, et elle peut se retrouver plusieurs fois dans une figure comme nous le verrons plus loin. Finalement, nous différencions l'IMAGE SPÉCULATIVE.

Cette image est une autre instance de l'interprétant de Peirce. Elle est le résultat de l'interprétation du phénomène expérimental à l'intérieur d'un cadre théorique cohérent.⁶⁴ Il s'agit, souvent, de la description mathématique d'une entité. Dans le cas de l'atome, l'image spéculative est l'entité théorique, ou le modèle de la structure atomique, ou encore la théorie des particules élémentaires. Les trois images peuvent toutes être des représentations du même objet. Ce sont les combinaisons des images mobilisées dans les figures que nous analyserons afin de décrire la variété des modes de communication de la connaissance.

Nous allons maintenant décrire les niveaux de représentation, autrement dit, *les combinaisons des images dans les situations de représentation*. Nous qualifions les figures selon qu'elles articulent deux, trois ou quatre (ou même plus) images entre le phénomène et son interprétation. Par exemple, dans le cas d'une figure de l'atome dans un magazine de vulgarisation, le signe dans l'esprit, l'image mentale, est toujours une représentation du signe sur la feuille de papier ou de l'image plastique. Cette image plastique peut être une représentation de la théorie atomique, ou une figure d'une autre image plastique, ou encore elle peut être une illustration d'un thème ou d'une idée abstraite par

63 Les images plastiques identifiées dans cette étude sont toutes de forme visuelle, mais il n'est pas exclu de considérer des signes auditifs ou stimulant les autres sens comme images plastiques.

64 À travers une vue dangereusement positiviste, ou même anti-réaliste, l'image spéculative pourrait être entendue comme l'interprétant final.

analogie. La quantité et les qualités de ces niveaux de représentation qualifient et déterminent les possibilités d'interprétation de la figure.⁶⁵

Direprésentations

Lorsque l'image plastique est une représentation directe ou mécanique de l'objet ou du phénomène, comme c'est le cas de certaines figures produites par des *microscopes électroniques à effet tunnel*, par exemple, nous appelons ces figures DIREPRÉSENTATION. Dans la plupart de ces cas, la figure illustre le résultat de la manipulation de l'objet premier.⁶⁶ C'est l'effet de l'objet qui inscrit, d'une certaine manière, le signe. Les traces laissées par la collision des particules dans les chambres à bulles et les capteurs des accélérateurs de particules sont de ce type. Ainsi, les images plastiques dans ce type de figure sont des signes indiciaires, ces figures sont habituellement des sinsignes dicent. Les figures de ce type semblent plus objectives que les autres, elles offrent selon certains chercheurs une plus grande sécurité.⁶⁷ Par contre, les progrès en microscopie sont limités, et les qualités informationnelles des représentations de ce type demeurent minimes, surtout lorsque présentées sans explication exhaustive, donc leur uberté dans le contexte de la vulgarisation est souvent presque nulle.⁶⁸ Nous ne

65 Sans s'en inspirer directement, notre théorie des niveaux de représentation s'apparente à la notion d'abstraction dans le *différentiel structurel* de la sémantique générale de Alfred Korzybski (2010 [1948]).

66 Les figures produites par les ETM et les STM ne sont pas exactement des portraits d'atomes. Ils sont plutôt des représentations graphiques du résultat des calculs de la variation électromagnétique entre une pointe et une surface. Nous les reconnaissons comme illustrations de configurations atomiques grâce à notre connaissance préalable de l'organisation géométrique des atomes dans les cristaux.

67 Rappelons qu'une proposition dont la sécurité est élevée contribue de manière évaluable à la connaissance. Au contraire, une proposition dont l'uberté domine contribue par l'élaboration d'outils facilitant l'évaluation de la connaissance.

68 Il faut faire attention, même les figures acoustiques ou à sonde sont transformées entre le laboratoire et la revue. Certains questionnent même la valeur générale de ce genre de direprésentations. (Soentgen, 2006) Mais ces figures sont produites à partir de données qui proviennent directement d'une manipulation physique (quantique, mais physique). Donc la donnée est un effet de la présence d'un phénomène. Même s'il ne s'agit pas de la représentation graphique d'une entité théorique comme dans le cas des figures de la structure atomique, il ne faut tout de même pas confondre la qualité physique indiciaire de la représentation à une objectivité déclarée.

retrouvons pas particulièrement souvent de direprésentations dans les revues de vulgarisation. Elles représentent environ 15 % des 270 figures recensées dans cette étude. Voici un schéma⁶⁹ des niveaux de représentation mobilisés par les direprésentations ainsi que deux exemples :

Image mentale ← Image plastique (indice) ← Objet (effets)

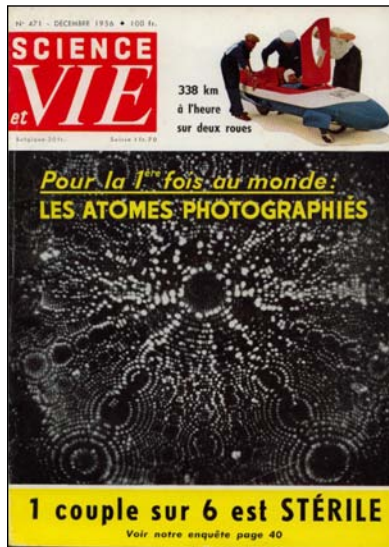


Figure B : Exemple de direprésentation — Figure produite avec un microscope ionique à effet de champ (FIM) sur la couverture. *Science & Vie*, No. 471, 1956.

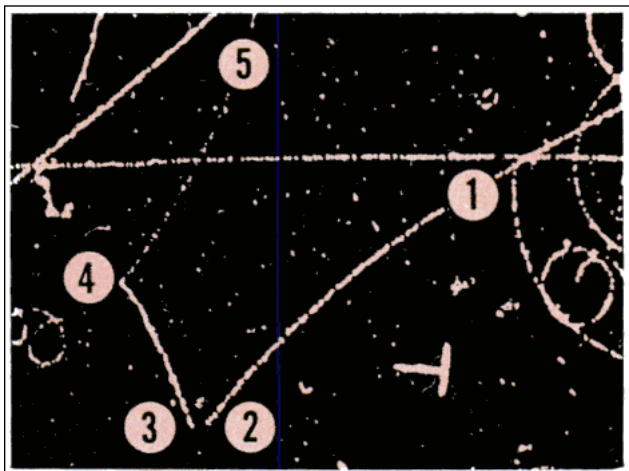


Figure C : Autre exemple de direprésentation — Photographie de traces de particules en collision chargées traversant de l'hydrogène liquide dans une chambre à bulles, l'une de 75 000 photographies étudiées par l'équipe du Dr Luis W.

⁶⁹ Dans ces schémas des niveaux de représentation, la flèche remplace les mots *représenté par*.

Alvarez de la University of California. *Popular Science*, Vol. 170, No. 3, 1957, p.17.

Trireprésentations

Il est aussi possible que le signe d'encre, l'image plastique, représente la structure de l'entité théorique issue de la théorie atomique, qui elle-même constitue une image spéculative de l'atome. Étant donné qu'il manifeste trois niveaux de représentation, nous appelons ce mode TRIREPRÉSENTATION. C'est ce type de figure qui a stimulé notre intérêt pour ce travail de recherche. Ce type constitue une vaste majorité à l'intérieur de notre corpus, soit plus de 65 % des figures recensées. Les figures de ce type représentent graphiquement le modèle mathématique ou théorique de l'atome suivant une théorie atomique. Nous retrouvons dans ce niveau une bonne variété de figures : des illustrations de la structure interne de l'atome, habituellement de modèle rutherfordien, aux représentations schématiques de la structure moléculaire des liaisons covalentes où l'atome est réduit à une boule *attachée* à d'autres atomes par des électrons bâtonnets. Lorsque le modèle mathématique utilise une géométrie euclidienne simple, il est possible d'en faire un diagramme trireprésentationnel cohérent : comme dans le cas de la théorie de Rutherford. Mais quand le modèle fait usage principalement de mathématiques statistiques à plusieurs dimensions, il est difficile, voire impossible, de proposer un graphique qui représente correctement l'incertitude des positions et des relations : comme l'atome quantique. L'introduction de l'image spéculative dans la sémiologie réduit du même jet la sécurité de la figure. Sa qualité ubertaire sera discutée en détail plus loin. Le schéma de ce triple mode est le suivant :

Image mentale ← Image plastique ← Image spéculative ← Objet (effets)

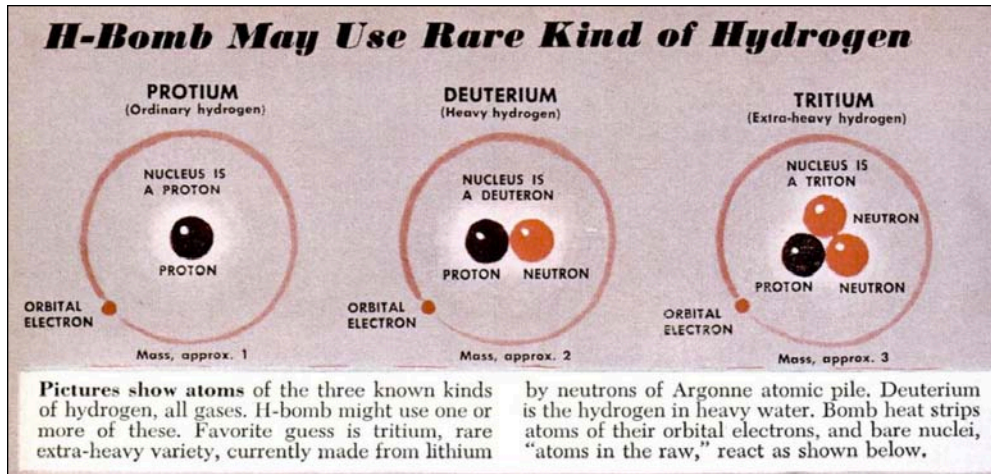


Figure D : *Exemple de trireprésentation* — Illustration d'isotopes de l'atome d'hydrogène : le protium à simple proton, le deutérium avec un proton et un neutron, et le tritium avec un proton et deux neutrons. *Popular Science*, Vol. 156, No. 4, April 1950, p. 144.

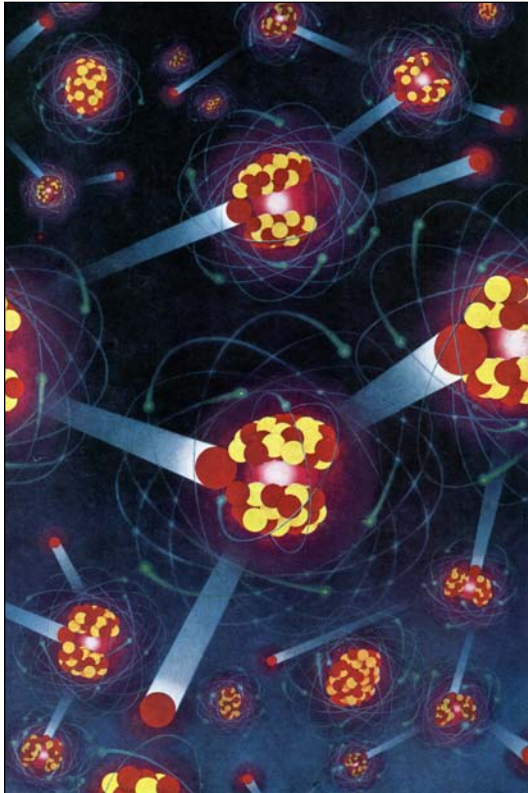


Figure E : *Autre exemple de trireprésentation* — Illustration typique de l'effet en chaîne de la fission nucléaire dans un réacteur utilisant l'atome de Rutherford. Peinture de John Barton. *National Geographic Magazine*, Vol. 114, No. 3, September 1958, p. 314.

Tétrareprésentations

Ensuite, il est encore possible que l'image plastique représente un modèle physique ou graphique, un objet, qui est lui-même une représentation de l'entité théorique qui représente l'atome. Dans ce cas, nous parlons de TÉTRAREPRÉSENTATION. Ce genre de figure, souvent une photographie, représente un objet qui est lui-même une trireprésentation, une figure du modèle. Les tétrareprésentations représentent environ 10 % des figures observées. Les occurrences les plus importantes de ce type sont les photographies de modèles en plastique, ou encore les photos de sculptures, de peintures ou même d'architecture inspirées de la structure atomique. Bien que le niveau de représentation supplémentaire apporte une variation notable des possibilités interprétatives, les tétrareprésentations sont souvent présentées de la même manière que les trireprésentations. Il serait possible d'imaginer des pentareprésentations, mais elles pourraient facilement être réduites à des figures de trireprésentations, et le résultat serait le même. Le schéma des tétrareprésentations est :

Image mentale ← Image plastique ← Image plastique (autre) ← Image spéculative ← Objet (effets)

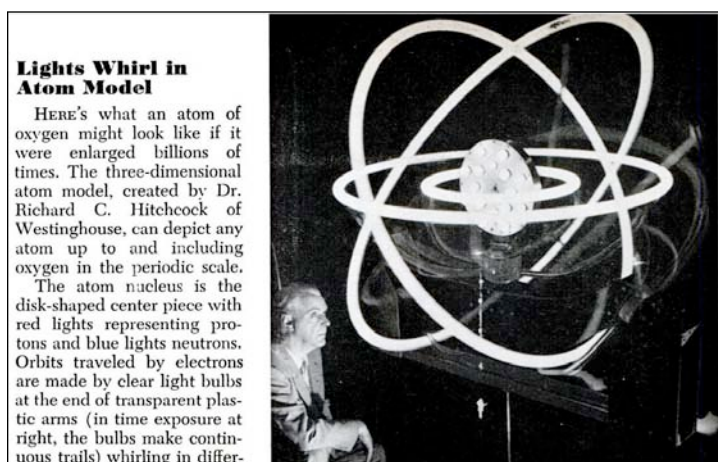


Figure F : Exemple de tétrareprésentation — Photographie d'une installation de Richard C. Hitchcock pouvant illustrer la structure interne de plusieurs atomes. *Popular Science*, Vol. 157, No. 3, 1950, p. 61.

Représentations thématiques

Enfin, nous devons distinguer un autre mode de représentation qui reprend les éléments graphiques des représentations visuelles de l'atome, mais qui ne cherche pas nécessairement à démontrer ou à expliquer la nature de l'atome. Ce genre de figure utilise plutôt le caractère scientifique d'une figure reconnaissable de l'atome pour représenter la science ou encore un thème ou une idée abstraite liés à la science. Nous nommons la figure de ce type REPRÉSENTATION THÉMATIQUE. Comme mentionné au chapitre précédent, le signe thématique est un sinistre iconique, il représente grâce à l'identification d'un de ses caractères avec le thème appliqué. On trouve souvent ce type de figure sur des cartes géographiques pour indiquer la localisation des centres de recherche ou des réacteurs nucléaires, ou dans les listes ou les taxonomies de domaines de recherche ou d'entreprises humaines. La figure signifie habituellement la science, ou la physique, ou le nucléaire, ou la matière, ou même simplement le moderne ou le futur en général, comme dans l'exemple ci-bas. Notons que nous avons inclus dans cette catégorie les figures dont l'un des niveaux de représentation était thématique. Malgré leur caractère généralement non-scientifique, plus de 10 % des figures recensées sont de type thématique. Ils forment donc une proportion similaire aux direprésentations. Les figures thématiques contribuent à la popularisation de la figure populaire de l'atome, mais elles ne comptent pas parmi les figures dont le dessein est de présenter la nature de l'atome. Ce sont des signes de deuxième ordre qui appuient leur signification sur la reconnaissance généralisée de l'association accoutumée de cette figure à la science de l'atome en général.⁷⁰ Le schéma représentatif de ces figures ressemble à celui des autres types, mais l'objet est ici un thème :

Image mentale ← Image plastique ← (autre Image plastique) ← Objet (thème)

⁷⁰ Au niveau supérieur d'analyse que l'on pourrait suivre à partir de cette phrase, elles engagent un signe symbolique.

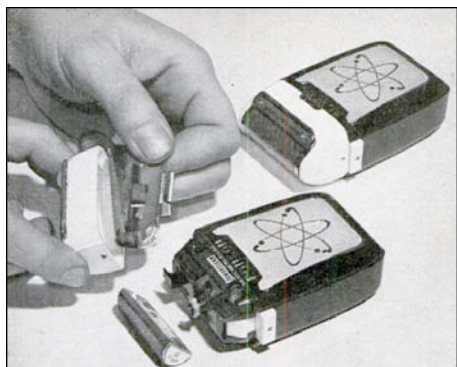


Figure G : Exemple de représentation thématique — Photographie de rasoirs électriques avec un atome de Rutherford sur la boîte. *Popular Science*, Vol. 178, No. 6, 1961, p. 95.



Figure H : Autre exemple de représentation thématique — Illustration de couverture accompagnant le titre de l'article sur la science en Chine. Le scientifique chinois manipule les orbites des électrons d'un atome de Rutherford. *Science & Vie*, No. 573, 1965.

DISCUSSION

Les trireprésentations constituent la grande majorité des figures trouvées, et elles sont très intéressantes pour notre discussion des variations possibles dans l'interprétation des figures puisqu'elles sont très souvent présentées comme des représentations de l'atome directement, leur niveau de sécurité menu demeure rarement mis en question. Au contraire, les direprésentations apparaissent relativement rarement dans les magazines de vulgarisation malgré leur sécurité supérieure. C'est qu'elles n'ont qu'une très basse qualité informationnelle, elles ont une uberté

négligeable. Nous les retrouvons dans les manuels par contre. Aussi, les tetrareprésentations se fondent habituellement sur des trireprésentations agissant comme symboles, elles deviennent donc conventionnelles et leur valeur de sécurité diminue. Quant à elles, les représentations thématiques n'ont aucune prétention à la vérité ou à la sécurité. Elles ne servent qu'à illustrer une notion institutionnelle abstraite. Notre analyse trouve son importance dans le fait que la plupart des figures dans les magazines, souvent des trireprésentations, sont présentées comme des direprésentations, et leur élément spéculatif (théorique) est rarement mentionné.

La fonction cruciale où la fission sémantique se situe est le mode de représentation articulé par la figure. Il faut rappeler que les figures trireprésentationnelles de l'atome imprimées dans les magazines populaires constituent des représentations graphiques de modèles théoriques mathématiques. Ces modèles sont eux-mêmes des représentations logiques de phénomènes isolés à l'intérieur d'une entité théorique : l'atome. Ainsi, la figure dans le magazine n'est pas la figure de l'atome mais celle du modèle de l'atome. C'est le modèle qui se veut la figure de l'atome. Et le modèle décrit, ou représente, une entité théorique : un objet artificiel. Si les trireprésentations dans les magazines se présentent comme des représentations iconiques, plus précisément des légisignes iconiques, elles introduisent une erreur fondamentale dans la communication de la connaissance scientifique. Elles sont des légisignes iconiques des modèles, mais il ne faut pas prétendre qu'elles soient des signes iconiques de l'atome. À cause du caractère expérimental et faillible des théories scientifiques, les modèles sont eux-mêmes des signes symboliques, des symboles rhémiques, de l'interprétation du phénomène. Autrement dit, la figure est un signe iconique du modèle, le modèle est un signe symbolique de l'atome, donc la figure ne représente pas l'atome de manière iconique bien qu'elle soit, de manière générale, un signe iconique.

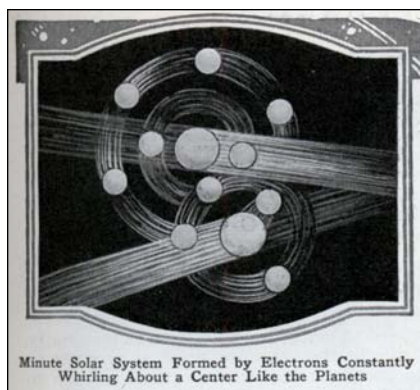


Figure I : *Atome planétaire* — Une des plus anciennes figures – trireprésentation – de l’atome planétaire de Rutherford que nous avons trouvées dans un magazine de vulgarisation. *Popular Mechanics Magazine*, Vol. 41, No. 4, 1924, p. 495.

Par exemple, dans une figure comme celle de l’atome planétaire ci-haut [Figure I, p. 80], le diagramme représente visuellement et analogiquement l’organisation des entités théoriques élaborées à partir des recherches en physique ; les électrons et le noyau sont représentés par des cercles et leur mouvement est indiqué par des vecteurs. Dans un contexte de vulgarisation, la description de l’atome offerte par le modèle théorique nécessite une explication. Cette explication prend une forme graphique dans la figure. Ainsi, la figure représente les aspects topographiques et relationnels de la théorie à travers une représentation iconique (par similarité) du modèle. Mais le mode de représentation du modèle n’est pas iconique. La recherche implique des calculs et des manipulations. Le modèle est élaboré à partir de ces calculs et manipulations, mais il doit aussi se conformer aux autres modèles et théories établis. Or, le modèle représente l’atome par convention, il est symbolique au sens de Peirce.

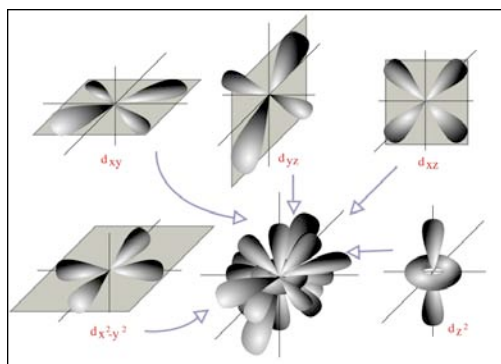


Figure J : *Cinq orbitales combinées* — Graphiques cartésiens de cinq orbitales décrites par l'équation de Schrödinger, et graphique central illustrant leur agencement combiné autour du noyau d'un atome. Atomic orbital *Wikipedia*.
 < http://en.wikipedia.org/wiki/File:D_orbitals.svg > (accédée le 9 janvier 2011).

Cette relation symbolique devient d'autant plus évidente lorsque la figure analysée est plus récente. Dans le cas de la figure des orbitales ci-haut [Figure J, p. 81], les formes géométriques représentent les espaces, ou orbitales, décrits mathématiquement où peuvent se trouver les électrons d'un atome à différents niveaux d'énergie. Cette illustration comporte plusieurs éléments dont la valeur scientifique est juste et contemporaine, mais elle se heurte au caractère probabiliste de sa description. La position de l'électron ne peut pas être représentée graphiquement selon cette théorie. La figure est visiblement symbolique.

LES QUALITÉS GÉNÉRALES DES FIGURES

Les possibilités récentes en CDAO⁷¹ et en illustration tridimensionnelle offrent une flexibilité inégalée à leurs créateurs. Ceux-ci y vont à cœur joie pour introduire des analogies et des allégories visuellement alléchantes, mais souvent scientifiquement douteuses. Cette variété introduit des ambiguïtés évidentes et multiples qui s'ajoutent aux difficultés issues de la composition représentationnelle des figures discutées jusqu'ici.

⁷¹ Conception et Dessin Assistés par Ordinateur.

Par exemple, quand le noyau d'un atome est illustré comme une bille contenant des protons et des neutrons, la nature objective ainsi accordée au noyau encourage un glissement vers une analogie matérielle plus ferme. Ce glissement prend une forme insensée, par exemple, dans une illustration de la collision d'un proton et d'un antiproton, trouvée dans *Science & Vie*, où les particules éclatent tels des billes de verre pour libérer les quarks qu'ils maintenaient, suivant l'analogie, en quelque sorte, prisonniers. [Figure K, p. 82] Nous nous demandons d'où proviennent les « résidus du protons » indiqués avec une étiquette sur la figure ? Ce genre d'analogie visuelle attribue des qualités matérielles aux constituants mêmes de la matière : une relation logiquement absurde.

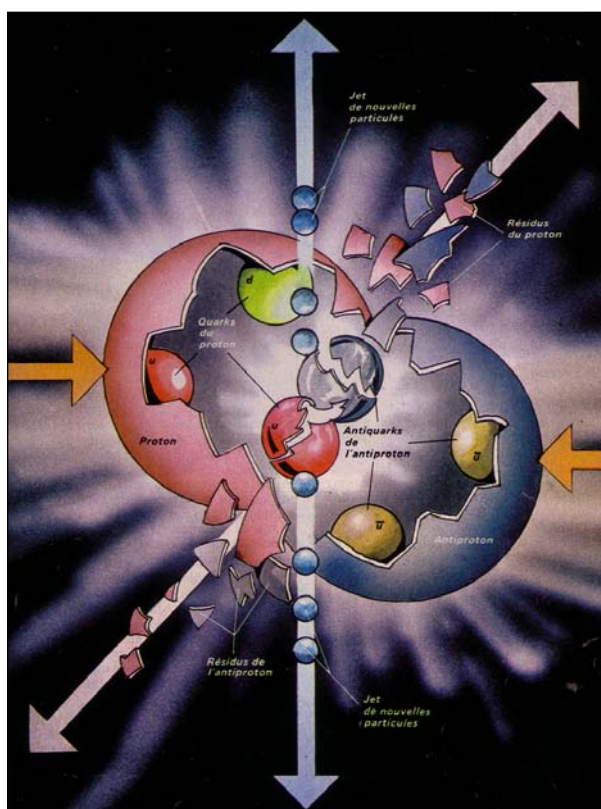


Figure K : Collision d'un proton et d'un antiproton — Les « résidus » de proton et d'antiproton indiqués sur cette figure ne sont pas expliqués dans le texte et ne proviennent pas de la théorie. *Science & Vie*, No. 760, 1981, p. 37.

L'attribution aléatoire de qualités macrophysiques – l'interaction avec la lumière et les effets de surface, par exemple – aux objets subatomiques peut mener à des niveaux aberrants de

matérialisation où la figure s'éloigne progressivement de la théorie afin de conserver sa propre cohérence. [Figure L, p. 83] Il serait inutile de poser l'argument que la nature apparemment illogique de la matière quantique rend possibles des relations paradoxales du genre puisque c'est justement à cause du comportement irrégulier des particules élémentaires que nous ne pouvons pas présupposer qu'elles possèdent les propriétés matérielles qu'elles dispensent à la matière macroscopique stable.

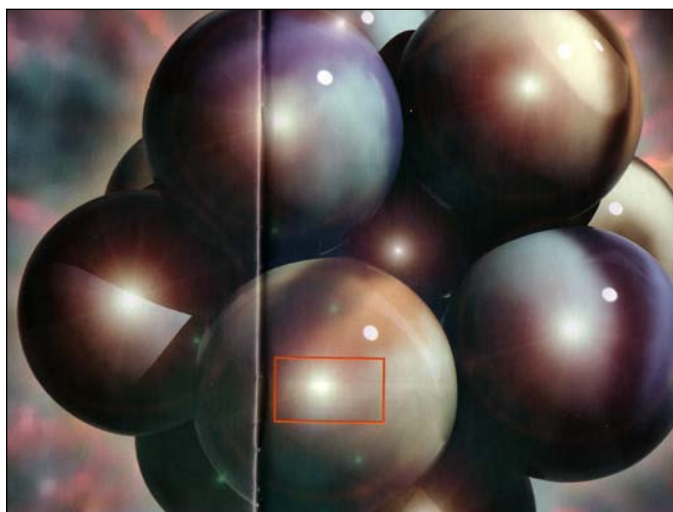


Figure L : *Illustration de protons et de neutrons (extrait)* — Cette figure, dite « Vue d'artiste... réalisée d'après les dernières mesures et les modèles théoriques de la physique », attribue des qualités macrophysiques aux constituants de la matière : réflexion lumineuse, ombre, surface polie, etc. Supplément à *Science & Vie*, No. 1091, 2008, n.p.

Les caractères analogique et plastique des trireprésentations les rendent particulièrement propices aux interprétations artistiques percutantes de ce genre, selon nous. Il est peut-être plus facilement justifiable d'attribuer des qualités physiques inappropriées à des entités théoriques qu'il le serait de manipuler des direprésentations, par exemple. La licence artistique que plusieurs illustrateurs de trireprésentations s'approprient, celle qui peut mener l'analogie au-delà de son utilité vulgarisatrice, ne s'applique pas aux figures produites par des microscopes. Celles-ci sont généralement présentées telles qu'elles apparaissent dans les articles scientifiques. La possibilité de manipuler graphiquement les illustrations de théorie explique peut-être la présence démesurée des trireprésentations. Celles-ci

peuvent être publiées de manière visuellement fascinante et toujours variée. Les direprésentations reviennent souvent au même,⁷² et ne peuvent pas aussi facilement être manipulées.

Selon une analyse plus manifestement foucaldienne, le fait que les figures dans les magazines soient présentées comme des signes iconiques maintient le public dans une conception théorique ancienne et décalée de la nature de l'atome par rapport au discours scientifique. Ancienne parce qu'elle n'est plus valable en science ; décalée par que la science n'a jamais perçu l'atome structurel comme non-théorique.⁷³ L'atome ainsi décrit dans les magazines prend la forme d'un objet cohérent, prévisible et régulier dans l'esprit des gens; même si la science le conçoit, depuis près de cent ans, comme une notion complexe, flexible et indéterminée. Le discours de vulgarisation scientifique, au-delà de maintenir l'intérêt populaire pour la recherche scientifique (l'argument politique), ne semble pas explicitement chercher à expliquer la complexité et l'incertitude des théories limites de la science. Il entretient plutôt une vision cohérente et positive de la connaissance scientifique.

Le problème classique débattu autour de cette approche critique de la connaissance est qu'il faut éviter de dire que la science ne connaît rien, même s'il ne faut pas dire qu'elle connaît tout. Il faut éviter le dilemme réduit à une simple question par Collins et Pinch : « Are scientists and technologists Gods or charlatans? » (1993, p. 145) Une solution possible à ce dilemme se trouve dans l'introduction de la notion d'erreur dans le discours vulgarisateur. Dans un texte publié par l'UNESCO où il décrit les grands principes de base à inclure dans tout programme d'éducation contemporain, le philosophe

72 À ce titre, *Science & Vie* a publié dans au moins deux numéros différents, dont une fois sur la couverture, la même image provenant d'un microscope ionique à effet de champ. [Figure B, p. 73]

73 La philosophie est propice au débat sur la *réalité* de l'atome, mais pas la science moderne. Voir Arabatzis (2006) pour une fascinante discussion de ce thème appliquée à l'électron.

Edgar Morin propose que le premier enseignement nécessaire soit d'apprendre les limites fondamentales de la connaissance. Il écrit :

La plus grande erreur serait de sous-estimer le problème de l'erreur, la plus grande illusion serait de sous-estimer le problème de l'illusion. La reconnaissance de l'erreur et de l'illusion est d'autant plus difficile que l'erreur et l'illusion ne se reconnaissent nullement comme telles. (1999, p. 5)

La reconnaissance des limites *techniques* de la reproduction des théories mathématiques provenant des extrémités de la connaissance scientifique devrait, selon nous, faire partie de toute communication de cette connaissance, surtout dans les contextes populaires. Une plus grande transparence par rapport aux simplifications théoriques et aux apports esthétiques introduits dans les figures rendrait explicites les éléments d'erreur et d'illusion inévitablement présents dans ces représentations.

Dans un encadré exemplaire d'une rare application pertinente de cette recommandation, les auteurs de *Science & Vie* présentent une figure typique de l'atome de Rutherford avec un court texte énonçant clairement les limites d'une telle représentation des constituants de l'atome. [Figure M, p. 86] Le texte nous prévient : « L'image (ci-contre), qui date de 1911, est tenace, mais trompeuse. Non, les électrons ne tournent pas comme de petites planètes autour du noyau-soleil. » Une illustration plus récente est aussi présentée et discutée dans ce même encadré.



Figure M : *Énoncé des limites de la figure* — Dans cet encadré, la présence d'erreurs théoriques dans la figure ubiquiste de l'atome de Rutherford est clairement explicitée et une figure plus récente est présentée. *Science & Vie*, No. 977, 1999, p. 42.

Il est difficile d'évaluer l'interprétation populaire de la notion d'atome, et nous avons décidé de ne pas nous y aventurer. Mais l'absence généralisée de contextualisation comme celle de notre dernier exemple dans les publications de vulgarisation nous laisse croire que la conception de l'atome du public et celle des scientifiques ne s'entendent pas nécessairement. D'après notre théorisation du processus de la sémiose, il semble que le dispositif de vulgarisation de la connaissance de la matière comporte quelques sources possibles de fuites ou d'erreurs d'alignement. Nous élaborerons ces thèmes en plus de détails au chapitre suivant.



CHAPITRE V

RENCONTRES D'UNIVERS

I wait for the men of science to tell me what matter is, in so far as they can discover it, and am not at all surprised or troubled at the abstractness and vagueness of their ultimate conceptions: how should our notions of things so remote from the scale and scope of our senses be anything but schematic?

George Santayana
Scepticism and Animal Faith, 1923

Ce chapitre de conclusion se veut une concrétion des éléments théoriques et analytiques élaborés dans ce qui précède. Or, le cadre théorique pragmatique présenté au chapitre III sera combiné aux outils d'analyse des signes en mouvement proposés au chapitre IV. Cette combinaison servira ici de base à l'élaboration d'un point de vue élargi menant à une discussion critique de la vulgarisation scientifique et, plus généralement, de la communication de la connaissance. Cette ouverture nous mène à noter certaines perspectives et approches possibles pour approfondir l'étude entreprise ici. Nous atteindrons alors la conclusion de ce mémoire vers une réflexion sur le rôle des figures dans la diffusion des théories scientifiques et surtout leur influence sur la réception de ce savoir.

LE DISPOSITIF DE VULGARISATION

Nous avons vu, dans les chapitres précédents, comment le signe se déplace, se transforme et se développe dans le processus de sémiotique. Il ne faut pas concevoir le signe comme une chose, mais

comme un processus lui-même. Sa signification, telle que saisie à un moment dans un esprit, s'inscrit dans une chaîne de conditionnement où le signe est déterminé par les autres signes qu'il conditionne.

Rappelons que pour Peirce, l'esprit est dans le signe, dans la sémiologie. Ainsi, comme l'explique Jean

Fisette :

... les idées, les signes évoluent, se transforment suivant leur propre logique. Les individus ou les personnes ne possèdent pas ces idées ni ne les contrôlent... Les esprits des personnes représentent donc des *occasions* données aux signes de se manifester et de connaître des évolutions. (1996, p. 148)

En ce sens, le signe peircéen joue un rôle similaire au dispositif foucauldien. Comme le dispositif, le signe apparaît comme une occurrence seconde déterminée par et déterminant en retour son contexte Tiers : la sémiologie pour le signe, le « jeu de pouvoir » pour le dispositif. Selon Foucault, le dispositif est « toujours inscrit dans un jeu de pouvoir, mais toujours lié aussi à une ou à des bornes de savoir, qui en naissent mais, tout autant, le conditionnent. » (DE2 300 ; «Le jeu de Michel Foucault», *Ornicar?*, 1977) Cette double relation conditionné-conditionnement lie le signe et la sémiologie au dispositif.

Nous avons établi que notre méthode d'analyse des figures ne pouvait pas s'étendre à une discussion formelle de la réception et de l'interprétation du public. Suivant l'hypothèse qu'une relation intime existe entre la réception du savoir et la diffusion des figures, nous nous situons du point de vue de la figure, sans pouvoir valider sa réception. Nous soulignons tout de même que la conception de l'atome d'un scientifique, celle d'un vulgarisateur, et celle d'une personne profane demeurent inévitablement distinctes. Bien entendu, l'interprétation de l'auteur de ce mémoire diffère aussi de celles-ci : nous ne sommes ni physicien des particules, ni totalement ignorant des débats actuels sur la structure de l'atome. Or, toutes ces conceptions s'inscrivent dans des esprits différents, elles déterminent alors des signes (interprétants) différents. La vulgarisation du savoir scientifique a pour objectif de réduire au minimum cette divergence, même si son élimination reste fondamentalement impossible. Une bonne

connaissance du dispositif de vulgarisation devient alors nécessaire. Le processus de la sémiologie, qui cherche l'alignement de deux esprits autour d'un signe, se porte ainsi à une analyse foucauldienne, selon nous.

Afin de décrire la complexité d'un phénomène scientifique, comme celui de l'atome, le recours aux représentations est probablement nécessaire, même dans certains contextes scientifiques. Les figures popularisées de l'atome s'inscrivent dans le dispositif de communication et de vulgarisation de la connaissance. Or, les qualités variables de la valeur de vérité de ces figures laissent déjà la place à des interprétations multiples, comme nous l'avons démontré à l'aide de notre analyse des niveaux de représentation engagés par les différentes figures. De plus, la mécanique à l'œuvre dans la vulgarisation introduit une complexité dans la compréhension complète du processus qui infuse son lot de possibilités de bruit dans la transmission.

Outre les variations d'interprétations des figures–signes, la conception publique de la science comme institution constitue une influence importante à la communication de la connaissance. Les attitudes positives au sujet de la validité de la science, tout comme ses critiques virulentes, n'aident pas à rendre le message véhiculé par les figures plus limpide. Notre mémoire reflète une approche pragmatique – peircéenne. Une étude foucauldienne aurait sans doute porté une attention plus particulière à ces tensions culturelles et discursives. Nous les abordons brièvement ici en guise d'ouverture.

Les attitudes caricaturées face à la science sont très variées. Les médias entretiennent aussi ces images extrêmes de la science et des scientifiques. Comme l'écrivent Gregory et Miller :

Scientists are both mad and the only sane and rational people on the planet; they are loved by the public as saviors and hated as designers of weapons of mass destruction; they are derided as “nerds” and revered for their single-minded pursuit of truth. (1998, pp. 2-3)

Rappelons que nous maintenons une notion de public plurielle. La multitude des esprits engagés dans la sémiose ou dans le dispositif de vulgarisation représente un complexe, une communauté, impossible à réduire. Les uns ont une confiance totale en la capacité de la science à résoudre les problèmes humains par l'innovation technique et par sa participation au développement de la civilisation. Les autres voient la science comme une entreprise obscure, voire arcane; pour ceux-ci, elle engendre la surproduction d'objets de consommation et d'outils guerriers. Toutes les opinions sont représentées. Les discours, comme les conceptions, abondent dans plusieurs sens.

C'est dans un tel cadre de perspectives variées et opposées que les figures se trouvent. Donc l'objectif de la vulgarisation scientifique prend ici une dimension politique, même éthique. Sans vouloir discuter de manière exhaustive de cette dimension, il nous semble nécessaire de l'accepter et de la mentionner. La science vue, dans une perspective peircéenne, comme poursuite de la vérité doit être comprise dans toute sa complexité. Et, l'espace socio-politique dans lequel les figures peuvent se trouver détermine inévitablement la transmission du savoir qu'elles servent à diffuser.

La production de connaissance n'est pas une entreprise aussi certaine que souvent présentée dans les médias de vulgarisation. Comme illustrée par l'exemple de la théorie structurelle de l'atome, la science ne crée pas de savoir irréfutable. Mais cette position critique doit demeurer flexible. D'une part, il ne faut pas prétendre que la science connaît tout et qu'elle peut tout régler, mais il ne faut pas annoncer non plus qu'elle ne connaît rien et qu'elle est inutile. Autrement dit, les scientifiques ne sont « neither Gods nor charlatans. » (Collins et Finch, 1993, p. 145) Dans son étude exhaustive de la variété des cultures et des approches de la recherche en physique, *Image and Logic*, Peter Galison écrit : « ... science is disunified, and—against our first intuitions—it is precisely the disunification of science that brings strength and stability. » (1997, p. 781) La subtilité d'une telle description complexe

de la science n'est pas évidente à transmettre elle-même, au-delà de la difficulté à communiquer le savoir et la compréhension du monde issues de cette complexité.

UNIVERS PROFANE ET UNIVERS DE SCIENCE

Un autre obstacle possible à la communication du savoir se trouve dans le contexte culturel occidental populaire contemporain. La valorisation de la stimulation immédiate et de l'expérience, au prix de la réflexion et de la compréhension encourage probablement la diffusion de figures simples et visuellement satisfaisantes. L'effort demandé pour appréhender suffisamment la théorie atomique quantique n'est pas donné. Les non-scientifiques doivent posséder un intérêt plus que superficiel afin d'étudier et de saisir la composition de la matière. Des questions se posent alors : À quel point le public a-t-il besoin de connaître la science fondamentale ? Existe-t-il l'équivalent de la boîte noire des outils électroniques dans le cas des théories fondamentales ? Pouvons-nous éviter les subtilités théoriques dans une discussion de la nature de la matière ? Peu importe les efforts des vulgarisateurs, une différence persiste entre la conception scientifique et la conception profane de toute notion. Il importe de prendre en compte cette quasi-imperméabilité des conceptions respectives.

Dans les mots de l'acteur et vulgarisateur américain Alan Alda : « The idea is you can't really communicate ideas unless you know what's going on in the other person's mind. »⁷⁴ Dans une perspective sémiotique, la distinction des points de vue invite à décrire deux univers, au sens de Peirce. Ce que celui-ci entend par univers se trouve dans une des définitions du terme qu'il propose dans le dictionnaire de Baldwin :

Universe (in logic) of discourse, of a proposition, &c. In every proposition the circumstances of its enunciation show that it refers to some collection of individuals or of possibilities, which

⁷⁴ Cité dans « Fine Line Between Humans and Other Beasts », Elizabeth Jensen, *The New York Times*, 25 décembre 2009. < <http://www.nytimes.com/2009/12/27/arts/television/27spark.html> > consulté le 26 juin 2011.

cannot be adequately described, but can only be indicated as something familiar to both speaker and auditor. At one time it may be the physical universe of sense (1), at another it may be the imaginary 'world' of some play or novel, at another a range of possibilities. (cf 2.536, 'Universe (2)', 1902)

La rencontre des deux univers – celui de la science et celui du public –, établis par les relations de pouvoir à travers le dispositif de vulgarisation, contribuerait à l'apparence ou à la présence d'ambiguïté, d'imprécision sémantique dans les figures. Comme pour les esprits qui se rencontrent dans le *commens* et qui s'arriment par leur échange à travers le signe, il faut trouver le sous-ensemble des conceptions communes des scientifiques et des profanes afin d'analyser et de saisir la nature de l'objet communiqué à travers la figure.

Par contre, il serait naïf de réduire la diffusion populaire de la connaissance à un système binaire.⁷⁵

Distinguant les publications destinées aux collègues scientifiques et celles destinées au public, Jacobi parle d'un « continuum dont les deux pôles seraient l'ésotérisme d'une part, l'exotérisme de l'autre. » (1984, p. 24) Nous recherchons donc une description plus granulaire. Nous constatons en effet que la double conception généralisée se multiplie en fait au nombre de participants individuels. Le double univers devient pluriel. Il y a donc autant d'univers qu'il y a d'esprits distincts; et il y a autant d'objets immédiats qu'il y a de membres de la communauté. C'est en ce sens que Peirce voyait la poursuite de la Vérité comme une entreprise commune.

Rappelons le rôle général du signe dans la communication. Celle-ci doit déterminer l'interprétant de l'esprit interpréteur comme l'objet détermine le signe, de sorte que l'interprétant représente le signe comme celui-ci représente l'objet. Dans le contexte de la vulgarisation, ce rôle devient de déterminer l'idée de l'objet comme signe de l'interprétant public, de sorte que l'interprétant public se

⁷⁵ Collins et Pinch vont même jusqu'à suggérer que « preserving the idea that there are two distinct spheres is what creates the authoritarian image so familiar to most of us. » (1993, p. 142)

représente un objet proche de celui que l'interprétant scientifique détermine. Ainsi, si les vulgarisateurs veulent informer et éduquer le public, les créateurs de figures populaires de science ont la responsabilité de produire des figures qui illustrent la théorie scientifique de manière à déterminer la conception la plus proche possible de celle du scientifique dans l'esprit profane. Selon notre étude, cela ne semble pas être le cas.

LE PLI DU PASSÉ

D'un niveau plus général, tentons d'expliquer la présence démesurée des tri-représentations, nonobstant leur valeur de vérité limitée. La figure provient de la théorie. La construction théorique, le modèle, de la structure de l'atome cherche à établir, pour les physiciens, une relation iconique (de similarité) avec le phénomène observé. L'expérimentation en science permet de confirmer ou d'infirmer la validité de cette relation iconique. Ainsi, pour les scientifiques, l'objet dynamique du signe est un possible; pour eux, le modèle constitue une représentation tentative de cet objet. Idéalement, la représentation graphique du modèle détermine, quant à elle, une relation iconique avec la théorie : l'objet et le signe sont structurellement parallèles. Par contre, la théorie représentée par cette icône – la figure de l'atome de Rutherford principalement – n'est plus actuelle. La figure représente une théorie centenaire. Pourtant, elle continue aujourd'hui d'être la représentation de choix pour illustrer l'atome. Mais comme sa relation iconique avec la théorie n'est plus valide, la figure doit être maintenue par un autre facteur.

Selon nous, il s'agit de l'accoutumance, ou *habit*. Rappelons que le *habit* est, dans la théorie peircéenne, le processus de validation des croyances incontestées mais non nécessairement validées scientifiquement. C'est donc par *habit* que la figure demeure populaire, plutôt que par son caractère iconique démontré. Le signe devient donc un symbole, toujours au sens de Peirce, non plus une icône.

La figure de la structure atomique est aujourd'hui devenue, par *habit*, un symbole de l'atome. La similitude entre le signe et l'objet, qui était peut-être juste dans le passé, se trouve actualisée en convention, en *habit*. Dans ce nouveau cadre, la figure conditionne l'interprétant du public à une conception passée de l'objet atome.

Ce pli du passé⁷⁶ dans le présent met en lumière l'aspect historique de la figure. C'est donc à travers notre analyse archéo-sémiotique que les caractères paradigmatiques de l'atome de Rutherford peuvent apparaître. À titre de paradigme, sa figure devient alors l'exemple et le modèle de la communication visuelle de la connaissance scientifique. Elle partage les caractères typiques de l'ensemble des figures populaires, et elle détermine les critères d'inclusion de ces figures dans le cadre de notre analyse de la vulgarisation. Ainsi, tout comme le Panopticon illustre la forme des relations de contrôle par la politique des regards pour Foucault, nous constatons comment les caractéristiques sémiotiques des figures illustrent les caractères du discours vulgarisateur. La figure stable et simpliste du modèle de Rutherford contribue à une description positiviste et cohérente de la connaissance scientifique. À l'inverse, une figure plus complexe et ambiguë comme celle de l'atome quantique annonce plutôt une science incertaine et une connaissance vague. La science des particules élémentaires paraît beaucoup plus inébranlable qu'elle ne l'est vraiment lorsqu'elle est présentée à travers une figure aussi résolue que celle de l'atome planétaire.⁷⁷

De plus, nous constatons que plusieurs autres figures engagées dans la vulgarisation articulent la même transformation de signe iconique à symbole conventionnel : la structure moléculaire de l'ADN,

76 Cette expression est utilisée par Deleuze(2004) pour discuter de l'archéologie foucauldienne.

77 À ce titre, il serait intéressant d'étudier l'évolution historique comparée des représentations de l'atome et de la connaissance de l'atome. Nous avions à l'origine envisagé une telle approche, mais cette réflexion déborde du cadre de notre mémoire dans sa forme actuelle.

les boules et bâtonnets des liaisons de covalence, les illustrations en tranche de cellules, le modèle relativiste de la gravité comme courbure de l'espace-temps, et même certaines équations comme $E = mc^2$. Ces signes, qui ont peut-être déjà eu l'aspect d'icônes ou qui ont cet aspect pour certains scientifiques dans les cas de débats actuels, sont, pour le public du moins, des symboles. Ils réfèrent à des objets par convention plutôt que par similitude à une conception arrêtée et certaine.

À la lumière de notre analyse, l'effet de cette symbolisation des icônes se trouve représenté encore plus particulièrement dans la présence considérable des figures de l'atome de Rutherford utilisées de manière thématique. Dans ce cas, les trireprésentations de l'atome migrent explicitement vers une signification conventionnelle. Celles-ci contribuent encore à une conception ordonnée et unifiée de la science. Elles présentent le modèle de Rutherford, réprouvé quelques années après son introduction, il y a un siècle, comme un accomplissement emblématique de la science.

Il est donc nécessaire de bien situer les figures scientifiques dans le contexte socio-historique de leur émergence pour effectuer une vulgarisation efficace. L'analyse sémiotique élaborée ici démontre bien les multiples possibilités de variance dans la transmission des notions complexes de la science fondamentale. La compréhension et la communication du processus de création de ces figures permettraient, selon nous, une meilleure transmission de la connaissance scientifique. Les résultats de l'analyse entreprise dans ce mémoire démontrent que les figures sont clairement séparées conceptuellement des théories scientifiques. Il faut briser la perception de la certitude scientifique entretenue par la diffusion isolée des modèles comme achevés, et exposer clairement le caractère spéculatif des descriptions, même les plus récentes.

Il faut aussi accepter et rendre explicite le fait que la figure et le modèle sont deux entités qu'il est impossible de fusionner parfaitement.

Because there is no such thing as full literary fidelity to geometric discourse, it is essential to work continuously to break down the illusion that geometry can be melted into literary discourse. (That illusion drives popular science, making periodicals like *Scientific American* seem adequate to their subjects. But in what sense does an article in *Scientific American*, with no equations, represent a discipline that can only represent truth *through* equations?) (Elkins, 2008, p. 14)

Il semble que le processus de la recherche scientifique, ou son historicité, aurait avantage à être communiqué plus systématiquement. « Communiquer des résultats, quand on juge devoir le faire, ce n'est pas diffuser la science. » (Canguilhem, 1961, p. 6) Ainsi :

What should be explained is methods of science, but what most people... want the public to know about is the truth about the natural world – that is, what the powerful believe to be the truth about the natural world. (Collins et Pinch, 1993, p. 144)

En bref, il faut faire confiance au public. Comme le dit Foucault : « Une vraie science reconnaît et accepte sa propre histoire sans se sentir attaquée. » (DE2 1598; « Vérité, pouvoir et soi », 1988) Ainsi, voyons comment une déclaration explicite des limites de la représentation peut contribuer à une communication plus précise de la connaissance. Une analyse critique approfondie des rapports entre la figure et le texte permettrait de développer une compréhension plus raffinée des enjeux. Mais l'exemple suivant donne un avant-goût.

La compréhension du processus et du contexte de développement des figures permettrait la diffusion de figures plus complexes, mais plus proches des conceptions contemporaines des objets de la science. Les concepts scientifiques peuvent facilement être présentés avec plus de subtilité. Prenons par exemple l'intervention de la journaliste Cécile Bonneau dans *Science & Vie* sur l'image de la déformation de l'espace-temps expliquant la gravité dans la théorie générale d'Einstein (Figure N, p. 97). Bonneau propose une description très juste de cette figure souvent présente dans les revues et les manuels :

... cette image nous met en profond échec dans la compréhension de la gravité moderne selon Einstein ! D'abord parce qu'elle se heurte fatalement à l'impossibilité d'imprimer toutes les dimensions en jeu sur une feuille de papier... Mais il y a plus grave : la gravitation telle qu'on se

la représente classiquement est subrepticement utilisée dans cette image, pourtant censée l'éradiquer ! Si notre boule déforme la toile, c'est en effet en « pesant » dessus. (numéro 1051, avril 2005, pp. 152-153)



Figure N : Courbure de l'espace-temps — *Science & Vie*, no. 1051, 2005, pp. 152-153.

Nous croyons que les figures de la science doivent servir de support à la communication de notions fondamentales de théories scientifiques, mais elles doivent être mises en contexte afin d'éviter d'alimenter des interprétations démodées ou erronées. Les figures demandent un traitement particulier à cause de leur composition sémiotique complexe, comme démontrée dans ce mémoire.

Ces recommandations proviennent bien entendu de notre propre idéalisme. La question demeure à savoir si le public désire une plus grande participation aux débats et aux discours scientifiques. La revendication d'une connaissance plus fine des complexités reste aussi à prouver. Par contre, si l'on s'inspire des développements dans les domaines plus généraux des médias comme Internet, l'air du temps nous indique que l'autonomisation est en vogue. Et les outils de participation engendrés par ces technologies de réseautique la permettent sans aucun doute. De plus, la tendance actuelle

d'introduire des équations dans les livres populaires de physique offre peut-être des avenues intéressantes.⁷⁸

⁷⁸ Par exemple : (Cox et Forshaw, 2011) et (Bais, 2005).

BIBLIOGRAPHIE

RÉFÉRENCES STANDARDISÉES

TEXTES DE CHARLES SANDERS PEIRCE

Lorsque le passage cité se retrouve dans plus d'une édition, nous notons toutes les références que nous connaissons. Nous ajoutons aussi le titre du texte (celui donné par Peirce ou par ses éditeurs), le nom de la publication d'origine, finalement, nous indiquons l'année de rédaction ou de publication originale.

CP *Collected Papers of Charles Sanders Peirce.*

Huit volumes : *Volume 1 Principles of Philosophy* (1931, Charles Hartshorne et Paul Weiss, eds) ; *Volume 2 Elements of Logic* (1932, Charles Hartshorne et Paul Weiss, eds) ; *Volume 3 Exact Logic (Published Papers)* (1933, Charles Hartshorne et Paul Weiss, eds) ; *Volume 4 The Simplest Mathematics* (1933, Charles Hartshorne et Paul Weiss, eds) ; *Volume 5 Pragmatism and Pragmaticism* (1934, Charles Hartshorne et Paul Weiss, eds) ; *Volume 6 Scientific Metaphysics* (1935, Charles Hartshorne et Paul Weiss, eds) ; *Volume 7 Science and Philosophy* (1958, Arthur W. Burks, ed.) et *Volume 8 Reviews, Correspondence, and Bibliography* (1958, Arthur W. Burks, ed.). Harvard University Press. Aussi disponible en version électronique sur CD-ROM Past Masters.
CP 2.32 – volume.paragraphe

s&s *Semiotics and Significs: The Correspondence Between Charles S. Peirce and Victoria Lady Welby.*

Charles S. Hardwick, ed. Indiana University Press, 1977.
s&s 74 – page

w *Writings of Charles S. Peirce. A Chronological Edition.*

Sept volumes parus, trente prévus : *Volume 1 1857-1866* (1982, Max H. Fisch, ed.) ; *Volume 2 1867-1871* (1984, Edward C. Moore, ed.) ; *Volume 3 1872-1878* (1986, Max H. Fisch, ed.) ; *Volume 4 1879-1884* (1989, Max H. Fisch, ed.) ; *Volume 5 1884-1886* (1993, Max H. Fisch, ed.) ; *Volume 6 1886-1890* (1999, Nathan Houser, ed.) et *Volume 8 1890-1892* (2010, Nathan Hauser, ed.). Indiana University Press.
w5 201 – volume page

RLT *Reasoning and the Logic of Things. The Cambridge Conferences Lectures of 1898.*

Kenneth Laine Ketner, ed. Harvard University Press, 1992.
RLT 142 – page

EP *The Essential Peirce. Selected Philosophical Writings.*

Deux volumes : *Volume 1 1867-1893* (1992, Nathan Houser et Christian Kloesel, ed.) et *Volume 2 1893-1913* (1998, Peirce Edition Project, ed.). Indiana University Press.
EP2 99 – volume page

MS *Annotated Catalogue of the Papers of Charles S. Peirce*.
Richard S. Robin. University of Massachusetts Press, 1967.
MS 478 – numéro du manuscrit

TEXTES DE MICHEL FOUCAULT

Tous les passages sont cités avec le numéro de la page, sauf indication.

MC *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*. Gallimard, 1966.

AS *L'archéologie du savoir*. Gallimard, 1969.

OD *L'ordre du discours. Leçon inaugurale au Collège de France prononcée le 2 décembre 1970*. Gallimard, 1971.

SP *Surveiller et punir. Naissance de la prison*. Gallimard, 1975.

VS *La volonté de savoir. Histoire de la sexualité I*. Gallimard, 1976.

UP *L'usage des plaisirs. Histoire de la sexualité II*. Gallimard, 1984.

SS *Le souci de soi. Histoire de la sexualité III*. Gallimard, 1984.

DE *Dits et écrits*.

Deux volumes : *Volume I 1954-1975* et *Volume II 1976-1988*. Gallimard, 2001.

DE2 923 – volume page

AUTRES TEXTES CITÉES

Agamben, G. (2008). *Signatura Rerum. Sur la méthode*. Vrin.

Alcoff, L. M. (2005). Foucault's philosophy of science: structures of truth/structures of power. In Gutting, G., éd., *Continental Philosophy of Science*. Blackwell Publishing.

Amann, K. et Knorr-Cetina, K. (1990). The fixation of (visual) evidence. In [Lynch et Woolgar, 1990] (pp. 85-121).

Andersen, J.-H. (2005). *Sized matter: Perception of the extreme unseen*. Exhibition at the Art Gallery at Fermi National Accelerator Laboratory in Batavia, Illinois.

Arabatzis, T. (2006). *Representing Electrons: A Biographical Approach to Theoretical Entities*. University Of Chicago Press.

Bailer-Jones, D. M. (2003). When scientific models represent. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17(1), 59-74.

Bais, S. (2005). *The Equations: Icons of Knowledge*. Harvard University Press.

Bentham, J. (1995 [1787]). Panopticon or the inspection-house. In Bozovic, M., éd., *The Panopticon Writings*. Verso.

Bergman, M. (2000). Reflections on the role of the communicative sign in semeiotic. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 36(2), 225-254.

- Bohr, N. (1913). On the constitution of atoms and molecules. *Philosophical Magazine*, 26, Series 6, 1-25.
- Bucchi, M. (1996). When scientists turn to the public: Alternative routes in science communication. *Public Understanding of Science*, (5), 375-394.
- Bucchi, M. (1998). *Science and the Media: Alternative routes in scientific communication*. Routledge.
- Bucchi, M. (2004). Can genetics help us rethink communication? Public communication of science as a 'double helix'. *New Genetics and Society*, 23(3), 269-283.
- Bucchi, M. et Neresini, F. (2008). Science and public participation. In [Hackett et al., 2008] (pp. 449-472).
- Burri, R. V. et Dumit, J. (2008). Social studies of scientific imaging and visualization. In [Hackett et al., 2008] (pp. 297-317).
- Callender, C. et Cohen, J. (2006). There is no special problem about scientific representation. *Theoria*, 55, 67-85.
- Callon, M. (1999). The role of lay people in the production and dissemination of scientific knowledge. *Science, Technology & Society*, 4(1), 81-94.
- Canguilhem, G. (1961). Nécessité de la "diffusion scientifique". *Revue de l'enseignement supérieur*, (3).
- Cartwright, N. (1999). *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge University Press.
- Cianci, E. (2003). Scientific communication in Italy: an epistemological interpretation. *Journal of Science Communication*, 2(3).
- Collins, H. et Pinch, T. (1993). *The Golem: What Everyone Should Know About Science*. Cambridge University Press.
- Cox, B. et Forshaw, J. (2011). *The Quantum Universe: Everything that can happen does happen*. Allen Lane.
- Daston, L. et Galison, P. (2007). *Objectivity*. Zone Books.
- Deledalle, G. (2002). Du possible à l'existant par le discours. *Protée*, 30(3), 25-30.
- Deleuze, G. (2004 [1986]). *Foucault*. Éditions de Minuit.
- Dreyfus, H. L. et Rabinow, P. (1983). *Michel Foucault: Beyond Structuralism and Hermeneutics*. University Of Chicago Press, second edition.
- Elkins, J. (2008). *Six Stories from the End of Representation: Images in Painting, Photography, Astronomy, Microscopy, Particle Physics, and Quantum Mechanics, 1980-2000*. Stanford University Press.
- Fisette, J. (1996). *Pour une pragmatique de la signification*. XYZ Éditeurs.
- Fisette, J. (2009). L'icône, l'hypoicône et la métaphore. l'avancée dans l'hypoicône jusqu'à la limite du non conceptualisable. *Visual Culture* (Corean Association of Visual Culture), 14, 7-46.
En ligne : < <http://www.jeanfisette.net/publications/icone2c-hypoicone-et-metaphore2.pdf> >

- Frankel, F. (2002). *Envisioning Science: The Design and Craft of the Science Image*. MIT Press.
- Freeman, E. (1937 [1934]). *The Categories of Charles Peirce*. University Of Chicago Libraries, private edition.
- French, S. (2003). A model-theoretic account of representation (or, I don't know much about art... but I know it involves isomorphism). *Philosophy of Science*, 70, 1472-1483.
- Frigg, R. et Hartmann, S. (2006). Models in science. *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2006 Edition).
- Galison, P. (1997). *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. University Of Chicago Press.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Gilmore, R. (2006). Existence, reality, and God in Peirce's metaphysics: The exquisite aesthetics of the real. *Journal of Speculative Philosophy*, 20(4), 308-319.
- Gregory, J. et Miller, S. (1998). *Science in Public: Communication, Culture, and Credibility*. Basic Books.
- Gutting, G., éd. (2003). *The Cambridge Companion to Foucault*. Second Edition. Cambridge University Press.
- Haack, S. (1992). "Extreme Scholastic Realism:" its relevance to philosophy of science today. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 28(1), 19-50.
- Habermas, J. (1995). Peirce and communication. In Ketner, K. L., éd., *Peirce and contemporary thought: philosophical inquiries*. Fordham University Press.
- Hackett, E. J., Amsterdamska, O., Lynch, M., et Wajcman, J., éd. (2008). *The Handbook of Science and Technology Studies*. MIT Press, third edition.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge University Press.
- Hacking, I. (2004). *Historical Ontology*. Harvard University Press.
- Hacking, I. (2006). Cours B : Les choses, les gens et la raison. 2. types de gens : des cibles mouvantes. In *Cours au Collège de France*, 2 mai. En ligne : < http://www.college-de-france.fr/media/historique/UPL32428_classifications_naturelles.pdf >
- Harris, T. (2003). Data models and the acquisition and manipulation of data. *Philosophy of Science*, (70), 1508-1517.
- Havenel, J. (2008). Peirce's clarifications of continuity. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 44(1), 86-133.
- Heisenberg, W. (1972). *La partie et le tout. Le monde de la physique atomique (Souvenirs, 1920-1965)*. Flammarion.
- Hookway, C. (2004). Truth, reality, and convergence. In Misak, C., éd., *The Cambridge Companion to Peirce* (pp. 127-149). Cambridge University Press.
- Hüppauf, B. et Weingart, P., éd. (2008). *Science Images and Popular Images of Science*. Routledge.

- Jacobi, D. (1984). Figures et figurabilité de la science dans des revues de vulgarisation. *Langages*, 19(75), 23-42.
- Jones, C. et Galison, P. (1998). *Picturing Science, Producing Art*. Routledge.
- Kelly, K. (1994). *Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems and the Economic World*. Perseus Books.
- Knight, D. (2006). *Public Understanding of Science: A history of communicating scientific ideas*. Routledge.
- Korzybski, A. (2010 [1948]). *Selections from Science and Sanity: An Introduction to Non-Aristotelian Systems and General Semantics*. Institute of General Semantics, second edition.
- Kuhn, T. S. (1996 [1962]). *The Structure of Scientific Revolutions*. University Of Chicago Press, third edition.
- Latour, B. (1990). Drawing things together. In [Lynch et Woolgar, 1990] (pp. 19-68).
- Latour, B. (1999). *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*. Harvard University Press.
- Latour, B. et Woolgar, S. (1986). *Laboratory Life: The construction of Scientific Facts*. Princeton University Press.
- Lawlor, L. (2003). *Thinking Through French Philosophy: The Being of the Question*. Indiana University Press.
- Lynch, M. (1990). The externalized retina: Selection and mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences. In [Lynch et Woolgar, 1990] (pp. 153-186).
- Lynch, M. et Woolgar, S., éd. (1990). *Representation in Scientific Practice*. MIT Press.
- Marty, R. et Lang, A. (1997). "76 definitions of the sign by C.S. Peirce" with "12 further definitions or equivalents". *Arisbe: The Peirce Gateway*. En ligne : < <http://www.cspeirce.com/> >
- Mersch, D. (2008). Visual arguments: The role of images in science and mathematics. In [Hüppauf et Weingart, 2008] (pp. 181-198).
- Moore, E. C. (1952). The scholastic realism of C.S. Peirce. *Philosophy and Phenomenological Research*, 12(3), 406-417.
- Morgan, M. S. et Morrison, M. (1999a). Models as mediating instruments. In [Morgan et Morrison, 1999b] (pp. 10-37).
- Morgan, M. S. et Morrison, M. (1999b). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge University Press.
- Morin, E. (1986). *La méthode. Tome III : La connaissance de la connaissance, anthropologie de la connaissance*. Éditions du Seuil.
- Morin, E. (1999). *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*. UNESCO.
- Morrison, M. (1999). Models as autonomous agents. In [Morgan et Morrison, 1999b] (pp. 38-65).

- Mota, T. (2009). *Foucault pragmatiste ? Du rapport entre la praxis langagière et le pouvoir discursif*. Bibliothèque de philosophie sociale et politique.
- Negri, T. (2004). Foucault entre le passé et l'avenir. *Nouveaux Regards*, 26.
- Nikolow, S. et Bluma, L. (2008). Science images between scientific fields and the public sphere. In [Hüppauf et Weingart, 2008] (pp. 33-51).
- Pauwels, L. (2006). *Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and Science Communication*. Dartmouth College Press.
- Peirce, C. S. (1978). *Écrits sur le signe. Rassemblés, traduits et commentés par G. Deledalle*. Éditions du Seuil.
- Perrin, J. (1991 [1913]). *Les atomes*. Flammarion.
- Pietarinen, A.-V. (2003). Peirce's theory of communication and its contemporary relevance. In Nyiri, K., éd., *Mobile Learning. Essays on Philosophy, Psychology and Education* (pp. 81-98). Passagen Verlag.
- Ransdell, J. (1997). Some leading ideas of Peirce's semiotic. *Arisbe: The Peirce Gateway*.
En ligne : < <http://www.cspeirce.com/> >
- Rosenthal, S. B. (1994). *Charles Peirce's Pragmatic Pluralism*. State University of New York Press.
- Rosenthal, S. B. (2001). Firstness and the collapse of universals. In Queiroz, J. et Gudwin, R. R., éd., *Digital Encyclopedia of Charles S. Peirce*. En ligne : < <http://www.digitalpeirce.fee.unicamp.br/> >.
- Rovira, S. C. (2008). Metaphors of DNA: a review of the popularisation process. *Journal of Science Communication*, 7(1).
- Rutherford, E. (1911). The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 21, 669-688.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423, 623-656.
- Smolin, L. (2006). *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next*. Houghton Mifflin Company.
- Snelson, K. (1994). An artist's atom. *Leonardo*, 27(3), 231-236.
- Soentgen, J. (2006). Atome sehen, atome hören. In *Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven* (pp. 97-113). Akademische Verlagsgesellschaft.
- Star, S. L. et Griesemer, J. R. (1989). Institutional ecology, 'translation' and boundary objects: Amateurs and professionals in Berkeley's museum of vertebrate zoology, 1907-39. *Social Studies of Science*, 19(3), 387-420.
- Stern, R. (2005). Peirce on Hegel: Nominalist or realist? *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 41(1).
- Teller, P. (2001). Twilight of the perfect model model. *Erkenntnis*, 55, 393-415.