

Forum

Dossier Interdisciplinarité Philosophies et sciences : pour une « brique transdisciplinaire »

Academos

Introduction

Un problème fondamental se pose actuellement en philosophie des sciences et dans les relations entre philosophies et sciences. Il est en train de modifier notre horizon. Il touche au cœur de la pluri- ou de l'interdisciplinarité. L'identification des sciences comme celle des philosophies s'est hautement complexifiée depuis que l'idée de « théorie » n'en est plus le référent essentiel. L'épistémologie n'en a sans doute pas encore réalisé toute l'importance.

Du côté des sciences, il devient difficile de les distinguer d'autres savoirs et d'autres pratiques sociales. Le XX^e siècle a construit des critères pour ce faire et cette recherche a abouti à des problèmes d'un genre nouveau, parce qu'ils ne peuvent se satisfaire des solutions proposées dans le cadre habituel des théories et des domaines.

Identifier la « science » conduit en effet à un paradoxe. Ou bien l'identification renvoie à une étude de critères restreints à quelques disciplines scientifiques particulières qui servent de paradigme : vérificationnisme (Cercle de Vienne), falsificationnisme (Karl Popper), programmes de recherche (Imre Lakatos), anarchisme (Paul Feyerabend), étude des paradigmes (Thomas Kuhn). Or, aucun des critères proposés n'a de valeur universelle, et tous ont été créés à l'occasion de théories dont les fonctions épistémologiques sont en train de changer. On aboutit alors, au mieux, à l'idée qu'il y a de la science, mais que l'on ne dispose pas de critères. Ou bien on généralise l'étude aux ordres de savoirs, et l'on s'aperçoit que la science que l'on postule dans la première approche est toujours donnée dans des mélanges avec la technologie, la société, la politique, l'économie, la philosophie, l'éthique. Comment donc l'identifier parmi ces multiplicités ? Le problème est assez grave pour que certains

Auteur correspondant : A.-F. Schmid, afschmid@free.fr

Academos est un groupe de recherche de philosophes dirigé par Anne-Françoise Schmid (INSA de Lyon), associé au Laboratoire de philosophie et d'histoire des sciences – Archives Poincaré, UMR 7117 du CNRS, Université de Nancy 2. Il est composé de Jean-Yves Béziau (Université de Neuchâtel), Sarah Carvallo (École centrale de Lyon), Jean-Claude Dumoncel (Centre d'études théologiques de Caen), Michel Filippi (consultant à l'École Centrale et à l'INSA de Lyon), Julie Leclère (INSA de Lyon), Mai Lequan (Université de Lyon 3), Franck Varenne (Université de Rouen) et occasionnellement de François Laruelle (Université de Paris 10-Nanterre). Son objet est l'étude des interactions entre philosophies et sciences.

sociologues de la science affirment qu'elle est une pratique sociale comme une autre, avec un langage spécialisé. Si l'intérêt des travaux de sociologie des sciences n'est pas contestable, nous nous refusons à la généralisation de ses thèses sous forme de « sociologisme », qui supposerait que la science puisse être entièrement abordée par les seules hypothèses sociologiques. Quelle que soit la méthode que l'on choisisse, interne ou externe, on aboutit à la difficulté d'identifier les sciences.

Du côté des philosophies, aussi bien anglo-saxonnes que continentales, le XX^e siècle a apporté une complexification, notamment en prenant en compte explicitement leurs gestes de constitution. Il ne s'agit plus de rendre compte des sciences et du monde, mais de les aborder en problématisant la façon philosophique de procéder. L'identification de la philosophie ne peut plus supposer qu'« une » philosophie est un progrès sur ses contemporaines, elle dépend des moyens de mettre en œuvre les instruments philosophiques, qui peuvent varier de façon culturelle et/ou individuelle. On est alors bien obligé d'admettre qu'il y a des philosophies et d'en tirer les conséquences théoriques sur la philosophie elle-même. Qu'est-ce que la philosophie si l'on admet de

plein droit qu'au même moment, d'autres philosophes travaillent sous des principes différents, voire contradictoires, des siens propres, alors que l'on ne dispose plus de critère hiérarchisant? C'est un problème théorique fondamental, qui, selon nous, amène vers la question de la modélisation des philosophies, question qui trouve son écho dans les travaux présentés par *Natures Sciences Sociétés*.

Les relations entre sciences et philosophies sont à un tournant. La « philosophie des sciences » classique ne suffit plus. On ne peut plus admettre qu'une philosophie puisse prendre naïvement pour objet les sciences. Aucune philosophie ne peut à elle seule survoler les sciences. Avoir examiné, même de très près, avec de multiples compétences, un texte ou un exemple d'histoire des sciences ne suffit pas pour se faire une idée du concept philosophique de « science », c'est là une généralisation abusive. Les relations entre philosophies et sciences sont à diagnostiquer selon un nouveau regard et à être inventées en tenant compte de cette situation. On ne peut plus admettre pour naturelle la distinction entre science et philosophie. De même que les points, les droites et les plans de la géométrie classique sont passés du statut d'objets donnés à celui de systèmes d'opérations, puis de systèmes d'axiomes, l'identification des sciences et des philosophies exige l'élaboration d'hypothèses. C'est dans ce contexte théorique que le dossier d'Academos trouve sa place. Il est un dossier sur le paradigme classique et les changements contemporains dans les relations entre philosophies et sciences.

Academos y prend le risque de poser un ensemble de questions. Comment pratiquer une philosophie dont la généralité ne subordonne pas les objets et les concepts scientifiques? Si la philosophie est une « technique des généralités », cela ne signifie pas qu'elle officie au-dessus des sciences, pas plus que le fait que celles-ci prennent pour objet des phénomènes « ordinaires » ne signifie pas qu'elles soient ordinaires. Il faut pratiquer une interdisciplinarité qui permette de ne plus répéter des relations hiérarchiques et injustes entre philosophies et sciences. Comment décrire, en fonction des matériaux historiques de chacun et de l'expérience de terrain, des relations entre philosophies et sciences qui ne dépendent pas d'une philosophie des sciences particulière? Comment la philosophie contemporaine adapte-t-elle ou pourrait-elle recevoir le traditionnel impact que les innovations scientifiques ont sur elle, de toute façon? Peut-on introduire en philosophie le concept d'« hypothèse », afin d'éviter une vision intuitive des sciences et des philosophies? Est-il possible de « modéliser » les objets de la philosophie, ses systèmes, comme on « modélise » en sciences, de façon à rendre compte de la complexité? Nous faisons le pari que le traitement de ces questions permettra d'inventer des outils de description des interactions entre philosophies et sciences.

Nous cherchons ici à mettre en œuvre ces questions dans une sorte de simulation du problème, pour montrer qu'il y a une certaine place des philosophies à côté des sciences – une place susceptible d'une pratique d'interdisciplinarité. Les auteurs de ce document ont accepté d'écrire de très courts textes à réunir justement parce qu'ils supposent qu'il ne s'agit pas ici de mettre sur le papier un résumé de leurs recherches, mais bien de faire l'expérience de ces relations. Chaque intervention est un « exercice », pièce de cette expérience de pensée, ou encore une sentence ou un aphorisme permettant d'entrer dans cette problématique interdisciplinaire, par les mathématiques antiques, la biologie au XVII^e siècle, la chimie au temps de l'idéalisme allemand, les mathématiques contemporaines, l'ingénierie, la logique paraconsistante, la simulation et la modélisation. L'ordre est à la fois chronologique et problématique, mais le lecteur peut passer d'un exercice à l'autre selon ses intérêts. La bibliographie rassemble l'ensemble des titres qui ont été importants pour les diverses contributions. Elle fera voir un paysage de l'épistémologie un peu différent de la lignée bien connue Popper-Kuhn-Lakatos-Feyerabend, la seule que, sauf exception, on enseigne aux étudiants scientifiques.

Ces travaux s'inscrivent ainsi dans un tournant du développement des sciences (ses pratiques maintenant majoritairement modélisatrices) et de celui des philosophies (l'admission de droit de leur multiplicité). Ils laissent entrevoir la nécessité d'avoir une nouvelle pratique où l'interdisciplinarité, et non le mélange, deviendrait la condition d'exercice de chaque discipline. Construite non pas sur une lutte de territoire ou, plus généralement, sur des exclusions, mais dans leurs relations aux autres disciplines. Chaque philosophe, chaque scientifique doit pouvoir comprendre l'enjeu s'il veut s'orienter dans les difficiles cartographies des savoirs actuels.

Anne-Françoise Schmid

Quelques aspects de la relation entre sciences mathématiques et philosophie néoplatonicienne

En contexte néoplatonicien, les liens qui unissent sciences mathématiques et philosophie renvoient en premier lieu à une pratique scolaire. Le canon des disciplines mathématiques, tel qu'on le trouve défini au Livre VII de *La République*, sera conservé dans l'enseignement néoplatonicien, qui, sur cette question, sera par ailleurs durablement influencé par le moyen platonisme et le néopythagorisme (et essentiellement par les traités de Nicomaque de Gérase et Théon de Smyrne, intitulés respectivement *Introduction arithmétique* et *Résumé des notions mathématiques utiles à la lecture de Platon*). Les néoplatoniciens se référeront en particulier à ces textes pour mettre en valeur

le caractère propédeutique et purificateur des sciences mathématiques. Leur étude doit permettre aux disciples de se détacher graduellement des réalités sensibles, de manière à pouvoir appréhender les réalités divines. C'est la raison pour laquelle elle intervient en amont du cursus scolaire et précède l'étude des textes proprement philosophiques. Les disciples étaient initiés aux sciences mathématiques à travers la lecture de textes scientifiques spécialisés (par exemple, *Les Éléments* d'Euclide ou certains traités de Ptolémée, d'Aristoxène ou d'Archimède) qui étaient commentés par le maître.

Cependant, l'influence que les sciences mathématiques exercent sur la doctrine néoplatonicienne, loin de se limiter au seul cursus d'études, est également sensible dans les modes d'exposition philosophique et les méthodes d'exégèse. La brève évocation de deux ouvrages de Proclus peut en fournir une illustration. Ainsi, les *Éléments de théologie* se présentent sous la forme d'une succession de propositions unies les unes aux autres par un lien de dépendance logique. Le mode de démonstration *more geometrico*, à la façon géométrique, devient ici soutien de l'argumentation philosophique. Par ailleurs, dans un passage du Livre II du *Commentaire sur le Timée*, Proclus procède à l'exégèse du texte philosophique (*Timée*, 27d-29d) en le retranscrivant sous la forme de sept hypothèses auxquelles correspondent quatre démonstrations.

Les néoplatoniciens, pour qui les disciplines mathématiques sont, comme nous l'avons vu, à la fois objets d'étude, modes d'exposition et instruments d'exégèse, vont également s'attacher à découvrir le niveau cognitif et ontologique auquel ces sciences correspondent. C'est de nouveau un texte de Proclus, en l'occurrence le prologue au *Commentaire au Premier Livre des Éléments d'Euclide*, qui nous servira de point d'appui.

Dans ce texte, l'âme est présentée comme le niveau ontologique où se déploient les raisons mathématiques : à cet égard, Proclus se fonde sur les distinctions établies par Platon en *République*, VI 510b, où les mathématiques sont associées à la connaissance dianoétique, intermédiaire entre la *noêsis* et la *doxa*. Dans la tradition néoplatonicienne, le niveau dianoétique correspond à l'hypostase de l'âme, qui tient elle-même une position médiane entre l'Intelligible et le Sensible. Le Démiurge dépose dans l'âme les principes intelligibles des idées mathématiques, mais l'âme, pour rentrer en possession de ces idées, doit les déployer sous le mode de la discursivité afin que, une fois dissociées d'elle, elles puissent devenir objets de connaissance. Fidèle à la tradition platonicienne, Proclus associe à la faculté dianoétique cette opération de déploiement des idées mathématiques à l'intérieur de l'âme. Mais, de manière plus originale, il souligne l'importance de la fonction imaginative dans ce mouvement de ressaisissement des raisons mathématiques par l'âme. En effet, l'imagination propose, à travers les formes

géométriques, une extériorisation spatialisée des idées mathématiques. À travers l'entrecroisement des facultés dianoétique et imaginative, l'âme apparaît ainsi comme le lieu de formulation des raisons mathématiques.

Julie Leclère

Une connaissance de la vie suppose de tenir compte de l'interaction entre sciences et philosophie

Que savons-nous de la vie ? À laisser résonner cette question, la vie apparaît comme un piège de la connaissance, puisque nous nous avouons partie prenante de ce phénomène, au moment où nous affirmons le manipuler comme un objet. Nous serions alors victimes de la faute originelle de l'amateur, qui ne prend pas la précaution de fermer la porte du laboratoire pour découper la vie dans la matière, le temps et l'espace, en s'abstrayant du monde et en interposant, entre son œil et la chose, la médiation neutre d'une technique. Mais cette solution érudite et positive prend-elle la mesure de la question ? Ne renonce-t-elle pas, en fait, à toute connaissance possible de la vie, en la réduisant à une abstraction artificielle séparée de la nature ? Reprenons l'interrogation, pour discerner le mélange originel des savoirs et des êtres, qui précède toute constitution de la vie comme objet de connaissance.

Que pouvons-nous comprendre de la vie ? Que connaît le vivant du monde et, tout spécialement, que connaît-il des vivants, plus particulièrement de soi ? Cette connaissance désigne-t-elle, par passage à la limite, une intuition de soi : le vivant se connaissant, puisqu'il vit – en un sens tautologique ? Le vitalisme explore cette piste herméneutique et diagnostique, qui souligne la différence spécifique de la vie. Ou bien ce savoir requiert-il le parcours discursif des raisons – inductives, historiques ou déductives –, qui intègrent la vie comme un phénomène parmi d'autres au sein d'un monde total ? La biologie moderne opte pour cette deuxième hypothèse ; elle se constitue effectivement sous la condition fondamentale d'une homogénéité des vivants et du monde, de sorte que le savoir biologique obéisse aux mêmes exigences que toute science. Or, ces deux mots tardifs nés au XIX^e siècle, vitalisme et biologie, ne relèvent encore ni de la science ni de la philosophie : ils énoncent un choix de la raison à l'orée de son travail cognitif (Schneider, 1993). Bien loin de donner une réponse, ils restreignent l'interrogation. Il convient donc de reprendre une troisième fois notre questionnement.

Qui connaît la vie ? Appliquons cette question à l'état des lieux qui caractérise la fin de l'âge classique, en supposant que cette époque serve de loupe pour analyser les rapports entre sciences et philosophie à la lumière d'une réflexion sur la vie. Au début du XVIII^e siècle, et sous les yeux de Leibniz, la médecine énonce des conditions

adéquates au développement du vivant ; elle dégage des critères, elle définit la naissance, la santé, la mort ou la maladie individuelles, elle classe les phénomènes en décidant du normal et du pathologique. Mais elle agit aussi, de sorte que la part théorique ne puisse se concevoir sans sa contrepartie pratique. La santé publique établit des taux de morbidité, de natalité ou de mortalité au niveau des populations. La diététique énonce des règles de vie. La physique considère les vivants parmi les autres corps en cherchant à confirmer l'extension de ses lois jusque dans l'organisme (Duchesneau, 1993) : les médecins de l'âge classique étudient, par exemple, l'opération des forces dynamiques sous la forme du tonus. La chimie cherche à ressaisir l'intimité des phénomènes organiques dans le laboratoire interne du corps : avant Lavoisier, les savants demandent si la respiration équivaut à une combustion (Clericuzio, 2000). Les mathématiques renouvelées proposent leur idée d'infini pour comprendre l'infinie imbrication des parties organiques les unes dans les autres. La botanique collabore à la pharmacie pour discerner remèdes et poisons. La philosophie dégage une certaine vision du monde implicite aux sciences, mais elle enquête aussi sur les fondements tacites du savoir revendiqué par les disciplines susnommées : quelle logique œuvre dans ces connaissances ? Quelle ontologie supposent-elles ?

La multiplicité des points de vue sur la vie ne se laisse pas aisément réduire à une belle unité. Mais, si la cacophonie s'avère l'impression première, il demeure possible de postuler une harmonie entre ces différents points de vue qui visent en effet la même réalité, à condition de respecter rigoureusement son statut d'hypothèse. L'hypothèse harmonique définit en effet tout projet encyclopédique, qui assume l'invariance de la raison sous les variations de ses modalités, en exacte correspondance avec l'invariance du réel sous les variations de ses phénomènes. Pari de la raison qui affirme demeurer une et même sous ses divers visages disciplinaires, l'harmonie suppose seulement la possibilité d'une connaissance cohérente et pertinente, quelle que soit la nature de la vie. Le reste – c'est-à-dire les mathématiques, la physique, la chimie, la médecine et la philosophie dans leur spécificité – constitue le corpus des conséquences permises par cette hypothèse première, qui ne préjuge aucunement de la réalité de la vie. Ainsi la vie apparaît comme problème, et le savoir disciplinaire, comme une solution partielle de ce problème écrit en langage mathématique, physique, chimique, médical ou philosophique. Tel Arlequin bigarré sous ses vêtements pluriels.

Que savons-nous de la vie ? Si cette question relève de plusieurs disciplines, elle nécessite alors un dialogue entre ces savoirs, comme si elle se situait à leur intersection sans s'épuiser en aucun. À l'écoute de cette question, nous prenons conscience de la vie comme problème : vivre consiste à poser et résoudre des problèmes

(Canguilhem, 1952). Connaître aussi. Sans cesse, à tous les niveaux macroscopiques ou microscopiques, nos corps résolvent des problèmes en établissant des conditions d'équilibre provisoire, ou bien ils meurent. Mathématiques, physique, chimie, médecine, philosophie posent et résolvent théoriquement ces mêmes problèmes. Or, ceux-ci ne sont pas des chimères générées par l'individu isolé dans sa confrontation aux choses. Ils émergent de la confrontation de plusieurs points de vue et enjeux parfois contradictoires : agissant entre des disciplines et entre des savants, cette controverse reconnaît ainsi la présence d'une difficulté, elle atteste la valeur de la connaissance et présente les solutions de ce problème dans leur plus grande autonomie.

La controverse définit en effet un style adéquat à l'entreprise de connaissance, puisqu'elle oblige à tenir compte des objections que soulève toute théorie. Elle constitue un laboratoire de la pensée. Quel territoire légitime revient à chaque discipline ? Quelles interactions unissent les différentes formes de savoir ? Quelles hypothèses tacites sous-tendent telle ou telle entreprise scientifique ? Soit un exemple. Parmi tous les dialogues passés ou présents où se joue la possibilité de connaître la vie, la controverse agitée entre Stahl et Leibniz en 1708 (Carvalho, 2004) offre un lieu pour formuler le problème posé par la connaissance de la vie. Elle met à l'épreuve la cohérence entre les disciplines, les prémisses de la rationalité, les conditions de l'expérience, les enjeux pratiques du savoir. Si nul ne sort vainqueur de la discussion, la postérité a prétendu décerner alternativement la victoire à Leibniz ou à Stahl, révélant alors davantage l'état des lieux des différentes époques postérieures que la vérité du dialogue entre Stahl et Leibniz : ainsi, selon les lecteurs, Stahl découvre le tonus, il invente la respiration, mais il se trompe en mathématiques et inclut encore l'âme comme objet du médecin ; on lui fait gloire du phlogistique, qui lui vaudra bientôt les pires stigmates d'obscurantisme ; pour sa part, Leibniz invente la dynamique, il élabore de justes notions sur l'infini, mais il divague sur les monades métaphysiques, il écrit une théodicée.

Or, cette hésitation perpétuelle suggère sagement que la vérité ne se trouve pas d'un côté ou de l'autre des Pyrénées, mais dans l'échange. Au début du XVIII^e siècle, nul paradigme ne régule la physique, la chimie ou la médecine : mais mille théories s'opposent d'abord sur la définition de leurs frontières, de leurs objets, de leur nature, de leurs fonctions. Stahl et Leibniz aiguisent leurs pensées l'une à l'autre : chacun repère chez l'adversaire les difficultés auxquelles il demeure aveugle dans sa propre théorie. Sont-ils alors philosophes ou médecins, physiciens ou chimistes, mathématiciens ou pharmaciens ? Tel Arlequin bigarré, ils changent de costume sans revendiquer nulle propriété, révélant l'impensé à l'œuvre dans toute entreprise de connaissance. Symétriquement

opposés dans leurs hypothèses, ils éclairent chacun les points aveugles du système adverse.

Ainsi, la controverse et son histoire mettent à l'épreuve les rapports entre philosophie et sciences : elles révèlent la fonction constitutive du dialogue entre philosophie et sciences pour poser des problèmes et définir le style des réponses conçues comme scientifiques ou non. Dans cette perspective, la question de la vie offre un terrain particulièrement critique pour formuler le problème des relations entre philosophie et sciences.

Sarah Carvallo

Schelling et la chimie : un dialogue impossible entre philosophie et science ?

Au tournant du XVIII^e et du XIX^e siècle, Schelling élabore une philosophie de la nature qui réfléchit sur les sciences d'alors, en particulier physique et chimie. Il pense d'abord le rapport philosophie-science comme extérieur. Dans l'une de ses premières œuvres, les *Idées pour une philosophie de la nature* (1797), il instaure un dialogue entre sa propre philosophie de la nature (qu'il définit alors comme *Philosophie der Natur*) et la science de son temps, séparant nettement discours philosophique et discours scientifique sur la nature. La preuve en est le plan même des *Idées* en deux parties : l'une, consacrée à la science physico-chimique d'alors, l'autre, à l'interprétation philosophique de la science, qui transpose, élève et re-construit le savoir scientifique positif dans la langue supérieure et universelle du concept dégagé de toute empirie. Cette seconde partie s'attache à fonder et déduire rationnellement les concepts et principes fondamentaux de la physique et de la chimie, tels que les concepts de matière, de force, de qualité. Schelling affirme la complémentarité et l'interdépendance de la philosophie et de la science. Comme le prouve le plan de l'œuvre, la science a besoin de la philosophie pour accéder à la pleine compréhension de soi. Inversement, la philosophie de la nature a besoin de la science qui en constitue la matière : la partie philosophique de l'œuvre ne peut venir qu'après l'exposé des savoirs scientifiques. Il y a donc bien, en 1797, dialogue entre philosophie et science, mais dialogue dissymétrique. Schelling compare les sciences à des éléments que la philosophie assemble ensuite de façon cohérente en un texte, le texte de la nature. La mathématique est science des lettres, la physique, science des syllabes, la chimie, science des mots, et la philosophie, science du texte naturel enfin constitué comme tel et doté de sens. Cette métaphore signifie que la science ne livre pas encore la nature comme texte cohérent, mais seulement les matériaux pour la constitution philosophique de la nature comme texte. Le projet initial de Schelling est donc d'instaurer un dialogue entre philosophie de la nature et

science physico-chimique, respectueux de l'autonomie de cette dernière.

Mais dans ses œuvres ultérieures – *Âme du monde* (1798), *Introduction à l'esquisse d'un système de philosophie de la nature* (1799), *Déduction générale du processus dynamique* (1800), *Exposition de mon système de la philosophie* (1801), *Des métaux nobles* (1802) –, il substitue à sa première *Philosophie der Natur* une *Naturphilosophie* qui intériorise de plus en plus l'objet naturel scientifique et en abolit l'autonomie. La *Naturphilosophie* est à la fois un « système universel de la nature » et une « physique spéculative », qui s'efforce de construire rationnellement les divers processus dynamiques matériels (magnétisme, électricité, chimisme, organisme) comme des moments de l'immense organisme naturel. Mais plus la *Naturphilosophie* s'élabore, plus elle intègre le discours scientifique au discours philosophique, de sorte qu'on ne peut plus parler de dialogue ou de rapport entre philosophie et science. Celles-ci tendent à s'unifier en un seul système spéculatif universel de la nature, qui déduit les divers moments, degrés ou puissances (au sens mathématique) de l'unique processus naturel dynamique, chacun caractérisant un type de produit et de productivité naturels. La nature devient un gigantesque système sériel, graduel de processus dynamiques ou classes de phénomènes formant des niveaux d'être et de rationalité que la *Naturphilosophie* lie entre eux et dont elle montre la continuité. Schelling élabore ainsi, peu à peu, une philosophie de l'identité entre nature et esprit et résorbe le discours scientifique dans le discours philosophique. Durant ces années, il inaugure certes un dialogue entre philosophie et science physico-chimique d'alors, mais tend à priver toujours davantage la science de son autonomie et à l'inclure dans le système spéculatif « naturphilosophique », ce qui constitue, semble-t-il, un échec, du moins un renoncement à son projet initial. Les étapes de la *Naturphilosophie* schellingienne témoigneraient finalement d'un dialogue avorté entre philosophie et science. Partant d'un dialogue en extériorité entre philosophie et science comme disciplines autonomes, caractéristique de la *Philosophie der Natur*, Schelling procède en fait à une intégration, homogénéisation, indifférenciation de ces deux discours, et révèle ainsi son impuissance à penser philosophiquement l'autre de la philosophie qu'est la science.

Mai Lequan

La philosophie des mathématiques aujourd'hui

Sur une fleur de tournesol, on sait que les graines de l'inflorescence forment un entrelacs de spirales blanches et noires dont les deux rotations respectives tournent en sens inverse. Le nombre de spirales dans ces deux groupes correspond toujours à deux nombres successifs

dans la célèbre suite de Fibonacci, formée à partir de 0 et 1 en prenant pour chaque terme suivant la somme des deux précédents : 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144...

Dans *l'Histoire des mathématiques* due à Ivor Grattan-Guinness (1997, p. 751), l'avant-dernière figure est une photographie de tournesol par l'auteur où se trouvent 55 spirales blanches et 89 noires. Tous les tournesols se règlent ainsi sur la suite de Fibonacci pour déterminer le nombre de spirales qu'ils vont faire tourner en sens inverse. Cet exemple contient en condensé tous les problèmes que les mathématiques posent à la philosophie¹.

D'abord, comment dire la différence entre les deux sens de rotation des spirales ? Selon Kant, « nous ne pouvons faire comprendre la différence de choses semblables et égales et cependant non coïncidentes (par exemple des volutes inversement enroulées) par aucun concept, mais uniquement par le rapport à la main droite et à la main gauche qui porte immédiatement sur l'intuition² ». Un tel recours à l'intuition est-il indispensable, comme le croit Kant, ou le mathématicien peut-il tout penser par concepts, comme le soutient Leibniz ? C'est là un problème épistémologique, portant sur la connaissance et donc sur la pensée mathématique. Mais la pensée doit d'abord avoir un objet, porter sur quelque chose. Et la chose mathématique va susciter deux types de problèmes d'après la distinction entre l'existence et l'essence. Le premier type surgit quand nous comparons le tournesol et la suite de Fibonacci. Entre les deux passe la différence que Platon a décrite par sa distinction entre « monde visible » et « monde intelligible ». L'existence du monde intelligible dépend-elle de l'intelligence, ou bien pouvons-nous voir dans les nombres, comme dans le tournesol, des êtres indépendants de la pensée ? C'est un problème ontologique. Mais, pour s'interroger sur l'existence de quelque chose, il faut d'abord savoir de quoi on parle, et donc avoir déterminé son essence. Là se trouve le second type de problème suscité par les choses mathématiques. D'où la forme la plus fondamentale de l'interrogation philosophique sur les mathématiques, celle qui porte sur la nature ou l'essence des êtres mathématiques. Dans notre exemple, ce registre de problèmes est illustré sur la suite de Fibonacci par son caractère infiniment grand. Peut-on parler dans le même sens de quantités « infiniment petites » ? Ce problème relève de ce que Lazare Carnot appelait la « métaphysique du calcul infinitésimal ». En généralisant, nous dirons que les problèmes portant sur l'essence des êtres mathématiques

relèvent de la métaphysique des mathématiques. La philosophie mathématique se divise donc dans sa totalité en une métaphysique, une ontologie et une épistémologie mathématiques.

La variété des problèmes possibles ayant été ainsi inventoriée, la question est alors de savoir d'où peuvent provenir des solutions. Autrement dit : quelle méthode peut être appropriée à la philosophie mathématique ? Sur cette question, une table d'orientation oubliée nous est offerte, depuis 1911, par Maximilien Winter avec *La Méthode dans la philosophie des mathématiques*. Winter y distingue trois manières possibles de développer la philosophie mathématique : la méthode métaphysique, la méthode logique et la méthode historico-critique.

Parmi ces trois possibilités, le débat dominant de la philosophie mathématique est celui qui est commandé par la méthode logique. Il a pris, à partir de 1925, la forme d'une controverse qui dure toujours entre les trois écoles formaliste, intuitionniste et logiciste³ (Encadré 1). La plus grande partie de son histoire est racontée dans la somme de 690 pages intitulée *The Search for Mathematical Roots, 1870-1940. Logics, Set Theories and the Foundations of Mathematics from Cantor through Russell to Gödel*, par Ivor Grattan-Guinness (2000). Dans « La Philosophie des Mathématiques au temps du Postmoderne », nous avons tenté de montrer où en est aujourd'hui ce débat classique et comment il est toujours fécond⁴. Le conflit des écoles que manifeste le débat dominant est essentiellement l'effet de ce qu'il faut appeler le choc de Cantor, à la fin du XIX^e siècle. Georg Cantor (1845-1918) a introduit en mathématiques la théorie des ensembles transfinis qui, du point de vue philosophique, se manifeste par les antinomies des ensembles et les paradoxes du transfini. Les antinomies des ensembles ont principalement attiré l'attention. Elles ont pour modèle le catalogue de tous les catalogues qui ne se mentionnent pas eux-mêmes : s'il se mentionne, alors il ne se mentionne pas, et s'il ne se mentionne pas, alors il se mentionne. Chacune des trois écoles du débat dominant a proposé une prophylaxie destinée à éradiquer de telles antinomies. Mais la création cantorienne (qui sera encore élargie chez Russell⁵) se trouve principalement dans sa théorie du transfini, terre fertile en paradoxes. Dans sa totalité, cette théorie se déploie suivant deux ailes dont chacune a en quelque sorte son paradoxe principal, à portée emblématique. Ce sont la théorie des cardinaux infinis \aleph (les aleph) et la théorie des ordinaux transfinis ω (les oméga).

Le paradoxe principal des \aleph a sa racine dans les ensembles finis comme l'ensemble $\{a, b\}$ comparé à l'ensemble de ses parties $\{\{a\}, \{b\}, \{a, b\}, \emptyset\}$. Sur cet exemple, on voit que le nombre de membres d'un ensemble est

¹ La philosophie des mathématiques est dite aussi, depuis Brunschvicg et Russell, « philosophie mathématique ». Pour une présentation d'ensemble, voir Dumoncel (2002a). Nous avons rappelé ici, dans des encadrés, les notions notoires, de manière à concentrer le texte principal, au contraire, sur les perspectives moins frayées ou encore inédites. L'astérisque indique les notions définies dans les encadrés.

² *Prolégomènes*, § 13.

³ Sur le logicisme, voir Dumoncel (2002c). Sur sa genèse, voir Dumoncel (2003b).

⁴ Dumoncel (2002b). Voir aussi Dumoncel (2002a).

⁵ Dumoncel (2003-2004).

Encadré 1. Formalisme, intuitionnisme et logicisme

Dans le débat dominant de la philosophie mathématique tel qu'il a été défini par F.P. Ramsey, ce sont les trois écoles en lice.

- Le **formalisme** a son origine chez Hilbert (1862-1943). L'idée-clé de cette école est que les mathématiques trouvent leur forme achevée dans leur version formalisée (Encadré 4). Le programme de Hilbert pour une mise en œuvre de cette idée s'est heurté au théorème de Gödel*.
- L'**intuitionnisme**, fondé par Brouwer (1881-1966), se définit plus exactement comme **constructivisme**. Selon le constructivisme, la réalité mathématique n'est pas dissociable de la connaissance que nous en avons, et la vérité mathématique est donc solidaire de la démontrabilité. Ces positions prennent tout leur poids quand l'objet à l'étude est infini. Alors, selon le constructiviste, une assertion d'existence ne sera fondée que si elle est assortie d'une méthode pour construire l'objet de cette assertion, c'est-à-dire pour l'atteindre dans le fini. Le constructivisme conduit donc au finitisme. D'où l'édification des mathématiques dites intuitionnistes.
- Le **logicisme** de Frege (1848-1925) a été développé chez Russell (1872-1970) d'une manière qui intègre la théorie des ensembles*. Sa thèse est que les mathématiques se ramènent à la logique. Cette réduction passe principalement par la définition du nombre en termes logiques ou ensemblistes. Dire que les apôtres sont douze, par exemple, se ramène à dire que l'ensemble des apôtres appartient à l'ensemble des douzaines. L'écueil principal du logicisme est la nécessité de postuler l'axiome de l'infini*.

surpassé par le nombre de ses parties. Or, Cantor a démontré que cela vaut indifféremment pour tous les ensembles, finis ou infinis. Un corollaire immédiat, c'est que, si nous partons d'un ensemble infini comme l'ensemble des entiers naturels, le nombre infini de ses membres sera surpassé par le nombre de ses parties. Et ainsi de suite à l'infini. Autrement dit, Cantor a démontré qu'il existe une hiérarchie infinie d'infinis de plus en plus grands.

Le paradoxe principal des ω est la non-commutativité de leur addition. Comme ce sont des nombres infinis, le paradoxe se verra mieux en les notant par le symbole ∞ . À la différence de ce qui se passe avec les \aleph , lorsque l' ∞ est un ω , on aura en effet :

$$n + \infty = \infty \text{ mais } \infty < \infty + n.$$

La racine du paradoxe tient au fait que, dans le cas d'un ensemble infini, l'arrangement de ses membres peut modifier son montant (appelé ordinal transfini).

En 1925, Hilbert a prononcé une parole célèbre : « Il ne faut pas qu'on nous chasse du paradis que Cantor a créé pour nous. » Cette phrase nous révèle quel est le véritable enjeu situé sous le débat classique tel qu'il était défini en cette même année 1925 par F.P. Ramsey. Le véritable problème est de savoir jusqu'où les mathématiciens sauront suivre Cantor dans son ascension périlleuse du transfini, mesurée dans l'écart, au sujet des ensembles, entre leur théorie « naïve » (chez Cantor) et leur théorie axiomatisée (Encadrés 2 et 3).

C'était le cas en particulier pour l'école semi-intuitionniste française fondée par Borel, Baire et Lebesgue. L'influence de Borel est toujours vivante, illustrée entre autres par les travaux d'auteurs comme Alain Louveau, Jean Saint-Raymond et leurs élèves qui, toutefois, contrairement à Borel, admettent l'axiome de choix. L'étude des ensembles boréliens a en particulier des applications en informatique théorique. Sur ce chapitre, on

Encadré 2. Théorie des ensembles

C'est un terrain de rencontre entre axiomes et hypothèses. Dans la panoplie hétéroclite d'axiomes donnant ce qu'on appelle la « théorie axiomatique des ensembles », deux émergent par leurs enjeux :

- L'**axiome de l'infini** affirme l'existence d'un ensemble infini du type $\{\emptyset, \{\emptyset\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}, \dots\}$
- L'**axiome du choix** (AC) peut s'illustrer sur un exemple type de Russell : sur un ensemble infini de paires de chaussettes, AC affirme qu'il existe une raison de choisir une chaussette dans chaque paire.

Mais le sort de la théorie du transfini est suspendu essentiellement à une hypothèse :

- L'**hypothèse généralisée du continu** (HGC) signifie que, dans l'édifice de Cantor, l'axe \aleph pourrait être ramenée à l'axe ω .

Encadré 3. Métamathématique

L'axiomatisation formalisée des mathématiques ouvre la voie de la métamathématique, où les théories mathématiques sont prises pour objet d'une étude mathématisée.

Parmi la moisson des résultats remarquables de la métamathématique, deux théorèmes émergent comme résultats capitaux :

- le théorème d'incomplétude de Gödel (1931) dévoilant que, pour toute théorie formalisée de l'arithmétique, il existe un énoncé à la fois vrai (indépendamment de la théorie) mais indémontrable (dans la théorie) ;
- le théorème d'indépendance de Cohen (1963) où est établi que, dans la théorie des ensembles, l'hypothèse généralisée du continu* peut être à volonté ajoutée ou retranchée.

pourra consulter les travaux de Pierre Simonnet et Olivier Finkel⁶.

⁶ Simonnet, P., Finkel, O., 2002. Topology and ambiguity in ω -context free languages, *Journées montoises d'informatique théorique*, 9-11 septembre 2002, Montpellier, France, paru dans la version anglaise du *Bulletin de la Société mathématique belge*.

Encadré 4. Les concepts-clés

- **Antinomie et paradoxe.** Une antinomie est un cas de contradiction. Par conséquent, une antinomie conduit nécessairement au faux et doit être absolument résolue. En revanche, un paradoxe est ce qui heurte l'opinion reçue, qui peut très facilement être fausse. Donc, un paradoxe peut parfaitement être vrai. Qui plus est, le progrès scientifique passe parfois, sinon souvent, par le paradoxe.
- **Axiomatisation et formalisation.** Ces deux opérations qui s'enchaînent sont à distinguer. Axiomatiser une théorie, c'est faire la différence entre ses propositions primitives (axiomes et définitions) et ses propositions dérivées (théorèmes). L'axiomatisation est donc une entreprise de fondation qui vise à faire dériver toute la théorie des principes les plus appropriés. La formalisation prend d'abord pour objet le langage de la théorie. Un langage formalisé se définit par la donne d'un lexique de signes réduits à leur forme (grâce à la mise à l'écart du sens) et d'une syntaxe spécifiant quelles combinaisons de signes sont des énoncés du langage. Ce sont les règles de formation dudit langage. Lorsque l'on y ajoute des règles de dérivation spécifiant quels énoncés sont des thèses (axiomes ou théorèmes), ce langage est devenu théorie formalisée. Rétrospectivement, quand on compare à l'axiomatique d'Euclide, sa grande différence avec l'axiomatique formalisée, c'est que l'axiomatique ancienne ne stipulait ni règles de formation ni règles de dérivation au sens de Carnap. Axiomatique « formalisée » signifie donc essentiellement axiomatique à syntaxe explicite, l'éviction du sens au profit de la forme n'étant qu'une ruse pour multiplier les significations par les diverses interprétations du formalisme !
- **Le principe de Hume,** commun à Cantor puis à Frege et Russell, contesté par Wittgenstein. C'est le principe affirmant que le nombre est ce que deux ensembles ont en commun du fait qu'ils sont, par exemple, comme l'ensemble des mois de l'année et l'ensemble des apôtres, avec « bijection » entre eux.

Si nous voulons voir ce qu'ont donné les deux autres méthodes prévues par Winter, nous devons nous tourner vers Léon Brunschvicg (1869-1944) et ses deux grands disciples, Jean Cavaillès (1903-1944) et Albert Lautman (1908-1944), fusillés tous les deux par les nazis et dont la mort a laissé dans la philosophie mathématique un vide sans remède.

La méthode historico-critique allait être illustrée en 1912 par *Les Étapes de la philosophie mathématique* de Brunschvicg, puis en 1920 par *L'Idéal scientifique des mathématiciens* de Pierre Boutroux. L'histoire y est supposée donner les leçons philosophiques décisives.

Les deux thèses de Cavaillès⁷, publiées en 1938 (et qui forment un *From Cantor to Gödel*), illustrent respectivement les deux manières déjà définies. Dans ses *Remarques sur la formation de la théorie abstraite des ensembles*, la méthode historico-critique est mise à l'épreuve du choc de Cantor. *L'Essai sur le problème du fondement des mathématiques* initie le public français au débat dominant, dans lequel Cavaillès adopte un « formalisme modifié » (p. 187).

Les deux thèses de Lautman⁸, publiées en 1937, s'intitulent *Essai sur les notions de structure et d'existence en mathématiques* et *Essai sur l'unité des sciences mathématiques dans leur développement actuel*. Dans l'immense production du XX^e siècle en philosophie mathématique, elles sont les seules à illustrer la « méthode métaphysique ». Le point capital y est que, sur l'infini ainsi que sur le continu, Lautman distingue (pp. 196-198) au moins deux manières de poser le problème : d'une part, celle de Cantor ; d'autre part, celle de Hilbert et Poincaré. Or, il faut rappeler que, dans tout le débat classique, le choc de Cantor a toujours été la référence ultime, qu'il s'agisse

de suivre Cantor jusqu'au bout (comme Russell) ou sur une partie du chemin (comme Borel), de prétendre sauver son héritage (comme Hilbert) ou de le combattre (comme Brouwer ou comme le second Wittgenstein). L'originalité de Lautman tient d'abord à ce qu'il s'affranchit de cette référence cantorienne en amont des solutions : dès le niveau des problèmes et le choix de l'angle d'attaque. C'est ce qu'il faut appeler le *new deal* de Lautman en philosophie mathématique.

Dans la problématique définie par Cantor (indépendamment de la solution donnée aux problèmes qu'il a su poser), le fini et l'infini, ou le discontinu et le continu sont traités comme des couples de territoires dont les deux membres sont chaque fois juxtaposés. Or, Hilbert et Poincaré, selon Lautman, ont découvert que ces termes se trouvent aussi engagés dans un face-à-face d'ordre dialectique, se spécifiant comme rapport d'imitation du fini par l'infini chez Hilbert et comme rapport d'expression du discontinu par le continu chez Poincaré. Dans cette perspective, la généralisation des fonctions elliptiques en fonctions fuchsienues par Poincaré prend valeur de paradigme, et Lautman dégage ainsi par anticipation l'intérêt philosophique du sol où a récemment surgi la démonstration du théorème de Fermat par Wiles.

Dans la division de la philosophie mathématique dont nous avons donné pour commencer les embranchements principaux, la partie capitale est, comme nous l'avons vu, celle qui porte sur l'essence des choses mathématiques. Or, le *new deal* de Lautman conduit, dans cette recherche elle-même, à introduire une bifurcation supplémentaire qui lui est propre. La question de la nature des objets mathématiques, en effet, peut se concevoir, soit comme portant sur les principes des mathématiques, soit comme capable de conduire à une division détaillée qui, cette fois-ci, serait la division des mathématiques

⁷ Reprises et citées dans Cavaillès (1994).

⁸ Reprises et citées dans Lautman (1977).

elles-mêmes, révélant ce que François Le Lionnais appelait le « temple » mathématique avec son architecture, ou encore ce que Lautman désignait comme l'« anatomie des mathématiques ». voire leur « visage », avec sa physiologie.

Jean-Claude Dumoncel

Logique paraconsistante, science et philosophie

La logique paraconsistante qui s'est développée au cours du vingtième siècle est un défi pour la philosophie et la science. Cette logique, qui permet de raisonner en présence de contradictions, sans donc s'appuyer sur le principe de contradiction, nous amène à nous poser de nombreuses questions : peut-on fonder la rationalité sans le principe de contradiction ? Est-ce que la rationalité est fondée sur des principes logiques ? Et si elle ne l'est pas, sur quoi est-elle fondée ? Grothendieck, dans une conférence présentée au centenaire de Russell, mettait en avant le fait que la science, ou plus exactement l'esprit scientifique qui domine actuellement la science, repose principalement sur des bases irrationnelles.

Ce sur quoi repose la science n'est pas clair aujourd'hui, en particulier après les bouleversements liés aux nouvelles découvertes en logique. Autrefois, on considérait les mathématiques comme un modèle de rigueur et de clarté, il est difficile de continuer à prétendre cela, du fait des nombreux problèmes que la logique a mis en lumière : problème de la consistance, de la définition, de la décidabilité, etc.

Vasiliev, précurseur de la logique paraconsistante, argumentait, à la fin du siècle dernier, que l'approche usuelle du quantificateur existentiel (quelques, voire tous) ne correspondait pas à l'usage de ce quantificateur en science (quelques, mais pas tous) et proposait pour cette raison de remplacer le traditionnel carré des oppositions par un triangle de la contrariété. Plus tard, Blanché, reprenant cette idée et la développant de façon plus systématique, proposait d'accoupler, à ce triangle de la contrariété, un triangle de la subcontrariété, le tout formant un hexagone au sein duquel réapparaît le carré des oppositions.

Il a été récemment montré comment on pouvait être amené à transformer cette hexagone en polyèdre, par son assemblage avec deux autres hexagones qui apparaissent lorsque l'on remarque qu'alors que le coin E du carré correspond à une négation intuitionniste, le coin O, ineffable selon certains, correspond, lui, à une négation paraconsistante.

Il est facile de montrer comment l'hexagone de Blanché se généralise en un octogone fait de deux carrés : un carré de la contrariété et un carré de la subcontrariété. Si l'on considère, en effet, que les deux triangles de

Blanché correspondent à deux trichotomies opposées, on peut facilement construire également deux quadratomes opposés. En fait, cette construction peut se faire pour n'importe quelle polytomie. Ce que l'on montre par là, c'est que n'est pas sérieuse l'idée de Kant selon laquelle seule la dichotomie est a priori et que toute polytomie est empirique.

Tout cela nous conduit à une nouvelle façon de comprendre la notion d'opposition, si fondamentale pour la pensée. Une nouvelle théorie des oppositions permet d'envisager sous un nouveau jour les « structures intellectuelles », pour reprendre l'expression de Blanché.

On peut remettre en question de façon encore plus fondamentale l'approche standard en logique, et ce en particulier en rapport avec les applications de la logique aux sciences empiriques et à la modélisation du raisonnement naturel.

Lorsque l'on essaie de formaliser logiquement une science comme la physique, on a quelques surprises. Patrick Suppes et Roland Chuaqui ont montré, par exemple, qu'une grande partie de la physique pouvait être axiomatisée dans une logique sans quantificateur (c'est-à-dire avec que des quantificateurs universels) et sans négation (mais on peut y définir une négation, la négation minimale de Johansson qui est paraconsistante). La question de savoir quelle est la logique sous-jacente à la physique, à la biologie et aux autres sciences est loin d'avoir été résolue. Un problème concerne, par exemple, la validité du principe d'identité en physique quantique.

Patrick Suppes travaille actuellement sur une théorie qui nous permettrait de décrire comment notre cerveau fonctionne exactement, et cette théorie est soumise à des expériences concrètes sur des cerveaux humains, conduites à l'université de Stanford. L'idée de base est un mécanisme associatif qui n'a pas grand-chose à voir avec les formalismes logiques développés jusqu'à ce jour. Pour l'instant, seulement des exemples assez simples ont été traités, mais des résultats positifs laissent augurer un avenir prometteur.

Jean-Yves Béziau

Un dispositif pour la conception des personnages de l'ingénieur et du philosophe

Le philosophe et l'ingénieur sont deux figures que tout, dans la tradition, a contribué à séparer. Le texte qui suit montre que, si l'on tient compte des idées de « dispositif » et de « perspective » telles que les ont développées philosophes et artistes contemporains, on peut faire voir des similitudes, si ce n'est une quasi-identité du travail du philosophe et de celui de l'ingénieur, du point de vue du moins des objets-concepts qu'ils créent.

Soit un dispositif que Deleuze décrit (Deleuze et Guattari, 1996, p. 7 *sqq.*). Il est décrit entre amis, et s'expose face à l'ennemi comme un défi. Ce dispositif pourrait être compris comme le lieu de la philosophie. L'ami, présence intrinsèque à la pensée, condition de possibilité de la pensée même, catégorie vivante, vécu transcendantal, l'ami tend vers ce lieu sans être certain de l'atteindre. Il le désire et le fabrique. L'ami désirant fabrique des concepts. Gilles Deleuze décrivant montre comment il désire la philosophie et la fabrique. Le dispositif décrit est un concept.

La description n'est donc pas l'exposition du lieu de la philosophie. La philosophie ne peut être exposée, elle n'existe pas en dehors du désir que l'on peut avoir pour elle, en dehors de la fabrication du concept. Si la philosophie pouvait être exposée, chacun des amis la désirerait comme essence, et deviendrait alors un rival pour chacun (Girard, 1961). Le rival brandit ce qu'il dit être le concept comme signe de sa possession de l'essence. Le rival ne construit pas, il expose.

Les sciences de l'homme, l'épistémologie, la linguistique, la psychanalyse ou l'analyse logique, exposent des concepts. Elles exposent des représentations collectives, des conceptions du monde et affirment qu'elles sont les concepts. Les rivaux se renouvellent. L'informatique, le marketing, le design, la publicité, toutes les disciplines de la communication se sont emparées du mot concept et disent : ce sont nous les amis du concept. Le marketing a retenu l'idée d'un certain rapport entre le concept et l'événement ; mais voilà, le concept est devenu l'ensemble des présentations d'un produit (historique, scientifique, artistique, sexuel, pragmatique. . .) et l'événement, l'exposition qui met en scène des présentations diverses et l'« échange d'idées » auquel elle est censée donner lieu. Les seuls événements sont des expositions, et les seuls concepts, des produits qu'on peut vendre. Le simulacre, la simulation d'un paquet de nouilles est devenu le vrai concept, et le présentateur-exposant du produit, marchandise ou œuvre d'art, est devenu le philosophe, le personnage conceptuel ou l'artiste.

Le dispositif selon Deleuze est construction d'un lien entre des parties, et cette construction propose comme une façon de voir, comme l'occasion d'une perspective pour un spectateur, ou d'un chemin d'approche.

Si le dispositif selon Deleuze est construit pour que soit présent un spectateur, s'il est une perspective (Panofsky, 1997), alors ce dispositif ne serait que l'occasion d'une connaissance esthétique de la philosophie. Le dispositif construirait un certain rapport entre notre perception en tant que sujet et une affection intérieure, le passage d'un état à un autre. Mais cette sorte de connaissance décrite par A. Baumgarten, serait l'anti-philosophie de Deleuze.

Mais si le dispositif est l'occasion d'un chemin, alors nous devenons un ami de la philosophie. Ce qui pouvait

passer pour une perspective devient un des axes sur lequel tend, s'étend notre désir.

Lorsque l'ingénieur expose ce qu'il fait, il se comporte comme un Esthète. Il construit un point de vue en apportant des objets, en les délimitant, et en les plaçant les uns entre les autres. Cela s'appelle une perspective. C'est toujours un artiste-ingénieur qui expose ce qu'il a construit, un architecte-ingénieur préparant doublement le terrain, la pierre, la toile, afin d'accueillir des objets empruntés, pris ailleurs, là où le matériau peut être dominé par l'acte de construction, par la mise en perspective.

Ni l'artiste-ingénieur ni le philosophe ne construisent pour nous faire connaître le réel, contrairement à ce que fait le physicien. Tous les deux construisent des dispositifs. C'est pourquoi nous pouvons les comparer, et nous interroger sur leur rapport, leurs liens. Existe-t-il une circulation entre le philosophe et l'artiste-ingénieur, entre la philosophie et l'anti-philosophie ? Comment se fait-elle ?

Lorsque l'ingénieur décrit son dispositif, il assigne à qui le lit, l'écoute, l'entend ou le voit, une place. Littéralement, il lui oppose l'œuvre, il produit le spectateur comme rival. Comment fait-il ? Lorsque le philosophe propose un chemin à l'ami, lui ouvre une perspective à son désir, comment fait-il ?

Il nous semble que l'artiste-ingénieur et le philosophe font les mêmes gestes, empruntent les mêmes matériaux pour réaliser leurs dispositifs. Ce qui pourrait rendre compte d'une possible circulation entre les deux activités. Mais comment rendre compte des effets différents sans ruiner la possibilité de cette circulation ?

Nous faisons l'hypothèse que la différence d'effets vient de la manière d'assembler les mêmes matériaux, les mêmes gestes et de les arrimer, à l'image de la différence qui existe entre le sculpteur antique et le sculpteur baroque. Le Laocoon, malgré le volume de ses pierres, est encore un plan (Riegl, 1978), et la moindre colonne de l'abbaye de Melk, une porte vers des dimensions imaginables présentées et non représentées. Si le dispositif de Deleuze peut sans peine évoquer la piazza Navona du Bernin à Rome, c'est qu'il lui ressemble. Si ce dispositif n'est pas cette place, c'est pour d'autres raisons que celles résultant d'une opposition langage/éléments d'architecture. Ces raisons, nous les trouverons grâce à une critique de l'ingénierie mise en œuvre par le philosophe et par l'artiste-ingénieur dans leurs travaux.

Michel Filippi

La simulation d'objets complexes : retour à un « sens commun » simulé ?

Lorsque l'on se penche sur les pratiques récentes de la science, force est de constater que les concepts de la philosophie échouent à qualifier précisément le statut

Encadré 5. La philosophie des modèles et de la simulation

Dans un contexte positiviste et phénoméniste, la modélisation en sciences, au sens moderne de construction d'un analogon matériel puis formel, s'est répandue comme suite à une volonté de comprendre de manière imagée (mécanique) les équations de l'électricité (Faraday), de l'électromagnétisme (Maxwell) et de la thermodynamique (Boltzmann). Duhem comprit qu'il s'agissait d'illustrer directement les phénomènes et de faire pièce aux lois mathématiques. Là fut le début du malentendu : les Anglo-Saxons seraient fascinés par les images comme ils le seront bientôt par les signes du langage ; alors les Français se devaient de lutter contre cette idolâtrie nouvelle et stérilisante.

Par la suite, pour combattre cette supposée fascination pour l'image réputée figer la pensée et au nom d'un anti-idéalisme hérité de Marx, l'école bachelardienne a d'abord conçu la modélisation comme un abstrait-concret à dialectiser (à nier pour avancer : Bachelard, Althusser, Badiou), puis, sous l'influence de Husserl, comme une méthode de calcul formelle syntaxique puis sémantique (Suzanne Bachelard), puis, sous l'effet d'une démultiplication des dimensions dialectiques conférées aux signes et aux graphies, comme une néo-écriture (François Dagognet), et enfin, plus récemment encore, notamment chez les sociologues, comme une production médiatisante permettant de fédérer pragmatiquement, et dans des réseaux, des problématiques scientifiques d'horizons différents. Finalement, donc, à son corps défendant, l'épistémologie française des modèles a suivi un parcours très semblable à celui du positivisme logique anglo-saxon sur cette question (voir le résumé de cette évolution anglo-saxonne dans Morgan et Morrisson (1999), pp. 1-9) : stade syntaxique (années 1920-1930), stade sémantique (années 1950-1960), stade pragmatique (années 1970 à nos jours).

Assez logiquement, la simulation a été la parente pauvre de toutes ces réflexions sur la modélisation. Dans ces perspectives exclusivement linguisticistes qui conduisaient à ignorer son rôle empirique, on ne put en effet la concevoir que comme l'instanciation d'un modèle, à savoir comme un calcul particulier qui, dans sa singularité même, ne pouvait que retarder l'accès soit à l'universel (la théorie), soit au moins à une prise sur le monde (la pratique), ces deux types d'accès étant par ailleurs supposés être les seuls que la science doit nous donner immédiatement, et cela sans égard pour les sciences de la conception qui modélisent.

épistémique de certaines simulations informatiques à visée reproductive (Varenne, 2003a ; Encadré 5). On est, en effet, presque toujours renvoyé à une interprétation linguistique dans laquelle le modèle est conçu à l'image d'un langage. Cette interprétation abstractive, d'inspiration parfois logiciste (si on s'y livre de surcroît à une réduction de ce dispositif linguistique à des systèmes logiques formels), peine à rendre compte des apports des techniques de simulation contemporaines, qui sont pourtant essentiels dans les sciences computationnelles actuellement en plein essor (chimie, biologie, économie computationnelles. . .).

J'appelle linguisticiste toute philosophie des sciences ou toute théorie de la connaissance qui ne voit dans toute figuration scientifique que le fonctionnement (formel, matériel ou social) d'un système linguistique, que ce soit dans une perspective syntaxique, sémantique, pragmatique (au sens de la pragmatique des jeux de langage issue de l'évolution récente de la linguistique et de la logique formelle), dialectique ou praxique (inspirée de l'épistémologie marxiste et où le modèle n'est que le support d'une pratique dialectique et transformatrice du monde matériel). D'une manière qui apparaît aujourd'hui clairement contre nature, la simulation informatique a dès ses débuts été pensée à l'aune de ces catégories épistémologiques de nature linguisticiste.

Comme la philosophie générale, la philosophie des sciences du XX^e siècle s'est, en effet, massivement installée dans le langage. En sciences, la pratique de la modélisation, légitimée au départ par un fictionnalisme ouvert et heuristique (Hertz, Maxwell), puis par un phénoménisme strict (Mach, Pearson), a accentué ce mouvement en l'accompagnant par un geste de retranchement

similaire dans des dispositifs de langage. Sur ce point, science et philosophie se sont bien rejointes aujourd'hui en ce qu'elles projettent des catégories anthropomorphes sur nos rapports aux choses. Il y a anthropomorphisme dans cette posture linguisticiste en ce que l'on y projette sur toute pratique scientifique une pratique humaine spécifique : le langage, la communication humaine, l'argumentation et leurs jeux. Mais les limites de cette conjonction, signe d'un esprit du temps peut-être plus irrationnel et irraisonné qu'on ne le croit, se font jour devant les techniques nouvelles de simulation figurale. Face à la reproduction non linguistique du réel, sous la forme d'un sens commun synthétique et reconstruit (réalités répliquées, virtuelles ou augmentées), de nouveaux rapports entre philosophie, science et réel pourraient bien se dessiner.

L'approche pragmatique des modèles elle-même a sa source dans des considérations philosophiques paralinguistiques. Il s'agit en général du dernier degré atteint par une épistémologie linguistique qui essaie désespérément ses catégories à ce qui, dans ce que l'on veut se figurer, résiste, dans l'ordre, à une réduction syntaxique puis à une réduction sémantique. Et ainsi, on bascule encore et toujours du syntaxique au pragmatique en restant obstinément à l'intérieur d'une vision linguisticiste du monde des pratiques scientifiques (Wittgenstein I puis II).

Peut-être est-il vain de vouloir sauver à toute force les lambeaux de ce linguisticisme tardif et crépusculaire. L'époque serait à une philosophie des sciences qui se préoccuperait des divers types de construction de modèles et de concepts, dans leur hétérogénéité (sur ce point, voir Schmid (1998), pp. 138-142), dans leurs différences irréductibles et non-dialectiquement (*i.e.* encore

linguistiquement) opposables. En effet, à l'heure de la simulation informatique reproductive, que signifie construire des concepts par intuition augmentée, valider des modèles par simulation et tester virtuellement des théories (Varenne, 2003b)? Ces questions restent cruellement ouvertes. . . Si répéter le réel suffit parfois à l'accepter, selon Clément Rosset, par exemple, il ne nous est peut-être pas nécessaire de continuer à nous auto-aveugler en invoquant le voile indéchirable du langage, dès lors que c'est nous-mêmes qui, inconsciemment, exigeons qu'il demeure ; et cela de manière à ne voir du réel que ce que notre économie psychique et nos héritages culturels supportent de voir.

Franck Varenne

Modèles et modélisation (le M et la M) dans la philosophie et la science

Suivons une procédure de division quasi platonicienne pour arriver à poser la M. Distinction non entre genres et espèces jusqu'à l'individu, mais entre postures de savoir (pensée et connaissance, philosophie et science).

1. La M philosophique : le M a le primat sur la M. Soit que le sensible soit une imitation du M, soit qu'il y ait une inversion du sens de la M et un mélange du M et de la M.
2. La M scientifique : la M a le primat sur le ou les modèles, l'opérateur sur le construit. Pourtant, ce n'est pas une inversion de la M platonicienne, mais une autre activité.

Ou encore, par rapport au Réel :

1. Le M philosophique est le Réel, ce qui est représenté, la représentation étant l'activité de la M comme effet du M, et le M est cause de la M.
2. Le M est la représentation du Réel.

La M permet de réunir science et philosophie sous un même objectif, mais ce sont deux postures hétérogènes, donc une analogie.

M et M dans la philosophie

Le Réel est de droit représentable, l'Idée est modèle au sens aussi d'accessible comme tel par sa représentation, certes imparfaite mais de droit intelligible et objet de participation en sa réalité. Ce n'est pas le M qui est imparfait, c'est sa représentation, donc un phénomène de passion et de désir.

Le M est l'objet de la philosophie, celle-ci est imitation (représentation) du M, donc elle-même un M. Le platonisme est par définition la philosophie-modèle, le M de toute philosophie.

Il y a donc un cercle vicieux, si le Réel est le M à imiter, entre le Réel et la philosophie, une co-appartenance. Si la philosophie imite le Réel ou le M, elle est elle-même ce Réel ou ce M, mais sous une forme déficiente ou approchée. Donc, étant « le même » (cf. Parménide), il peut y avoir inversion des rôles entre eux, entre le M et sa représentation (renversement ou rébellion des copies puis des simulacres, la philosophie devient le tout-simulacre). Le M a intégré la déficience de la représentation, sa fausseté et sa multiplicité, mais positivement. De là une autodissolution du Réel ou du M en lui-même, c'est le nihilisme et le contre-nihilisme (Nietzsche).

M et M dans la science

Le M est ce qui représente le Réel (qui n'est donc plus lui-même le M), la représentation du Réel. Le présupposé de cette conception, c'est que le Réel n'est plus le M puisqu'il n'est plus accessible de droit, mais « seulement » représenté. On passe du primat du M au primat de la M comme activité de construction de M. Le M n'est plus donné une fois pour toutes, mais c'est une représentation perfectible ou du moins transformable quoique parfaite de droit puisqu'il n'y a pas à atteindre le Réel.

La M scientifique signifie la fin des hiérarchies philosophiques, il n'y a plus de confusion entre le Réel ou le M et la philosophie, le Réel est inaccessible et inimitable, juste « modélisable », le M est essentiel mais il est plus opératoire qu'ontologique. L'expression de « représentation du Réel » change complètement de sens, son insuffisance aussi, sa suffisance ou son degré de perfection aussi. La représentation n'est plus déficiente, ni le Réel d'ailleurs (pas de nihilisme), elle forme un ordre autonome (« la connaissance ») distinct de l'objet réel.

La M scientifique n'est donc pas l'inversion de la philosophie à l'intérieur de celle-ci, ou du platonisme. Au lieu d'être chute ou dégradation (sauf interprétation idéaliste), la M scientifique est une aide à la connaissance, mais (1) pas une « approche » ou une « approximation » de la connaissance, ce qui serait rephilosopher celle-ci, (2) pas une béquille ou une « échelle » de type philosophique, elle peut être rejetée mais pas « intégrée » au sens philosophique dans le Réel qu'elle permet de connaître, pas intériorisée ou relevée.

La représentation scientifique est de droit adéquate sur son mode de la rectification et de la validation. Mais, du coup, le Réel n'étant pas un M, il est de droit inintelligible au sens métaphysique ou platonicien (par exemple comme « fouillis », ou bien du manipulable machiniquement comme l'information binaire mais inintelligible – le numérique ou le digital comme une M scientifique, pas ontologique – ou comme « réel voilé »), le M apporte la seule intelligibilité et elle est non ontologique.

Donc, ce sont deux ontologies distinctes : (1) la philosophie est une ontologie du Réel et aussi de la pensée

comme image de ce Réel (Parménide); (2) la science est aussi une ontologie du Réel, mais où la connaissance est distincte de celui-ci, c'est donc ce que j'appellerai une « onto(-logie) ».

François Laruelle

Avenir ou futur de l'épistémologie ?

Le développement de l'épistémologie est étroitement lié à l'histoire des disciplines scientifiques. Lorsque le terme apparaît en français, au début du XX^e siècle, on espère encore pouvoir réduire cette diversité à la mécanique, comprise comme le modèle des sciences, mais on voit aussi les limites de cet espoir. Poincaré montre, dans sa *Thermodynamique*, que celle-ci ne peut se réduire à la mécanique, alors que, par ailleurs, il manifeste l'espoir malgré tout de pouvoir continuer à raisonner comme si la mécanique restait le modèle.

Les fondamentaux de l'épistémologie ont donc été déterminés tout naturellement, quelles que soient les opinions des auteurs sur le rôle de la mécanique, en fonction des caractéristiques historiques de celles-ci. Même si un concept comme celui de « méthode hypothético-déductive » a été élaboré à l'occasion des mathématiques, par Mario Pieri, son usage, pour caractériser la mécanique allait presque de soi parce que celle-ci semblait pouvoir être interprétée de façon analytique et déductive, autant que de façon expérimentale. L'épistémologie s'est constituée autour des concepts principaux de « théorie », d'« expérience », de « loi », de méthode « hypothético-déductive », de vérification. L'expérience et la vérification ou la réfutation distinguaient des sciences expérimentales les sciences mathématiques. Ainsi, le concept d'épistémologie a été construit sur au moins deux couples d'opposés, celui de « théorie » et d'« expérience », mais aussi celui de science pure et celui de science appliquée. Ces deux opposés ne sont pas équivalents. Le premier fait une place importante à la distinction des disciplines, qui seront classées en fonction de leur combinaison du théorique et de l'expérimental, assimilés parfois aux idées philosophiques d'esprit et d'expérience. Le second couple permet la construction des interrelations entre les disciplines sous l'idée d'une universalité de la science.

L'histoire de l'épistémologie se confond alors avec la suite des adaptations aux nouvelles disciplines. C'est à la fois un élargissement et un abandon de caractéristiques. La recherche de lois ne peut plus caractériser toutes les disciplines, puisque certaines se consacrent plutôt à la détermination de singularités. Le concept classique d'objectivité est « affaibli », avec les apports de la mécanique quantique et de la relativité. Mais ces modifications montrent que ces « nouvelles » disciplines sont

pensées en fonction de celle qui a donné lieu aux premiers travaux d'épistémologie. Aussi celle-ci est-elle le lieu d'un anachronisme constant. Cette situation peut n'avoir pas beaucoup d'importance. Le XX^e siècle a été le temps de nombreuses révolutions en sciences, sur lesquelles il existe une nombreuse littérature, permettant d'adapter nos concepts et nos croyances sur la science contemporaine.

Néanmoins, cette adaptation n'est possible que jusqu'à un certain point. Elle se heurte à deux problèmes. Le premier est que cet anachronisme est lié à une posture structurelle de l'épistémologie, entre sciences et philosophies. Comme science, elle a un objet, la science, distinct du réel. Comme philosophie, cet objet est le réel même connu par la science, qu'elle peut connaître directement par l'étude de celle-ci. Cette double contrainte fait que l'épistémologie est profondément liée à l'histoire de ses concepts. De cette dépendance, l'épistémologie perd son objet, parce que les critères de sciences élaborés à l'occasion de la mécanique ne permettent plus de décrire les spécificités de la science. C'est pourquoi elle se transforme progressivement en une sociologie des sciences. L'épistémologie est tiraillée entre ses concepts classiques et des situations nouvelles, ce qu'on appelle la « technologie » en particulier, et finit par ne plus pouvoir délimiter ses objets. La science devient un discours social parmi les autres, sans spécificité propre que la spécialisation des langages et les habitudes particulières des communautés de recherche. Cet avenir sociologisant des sciences fait partie de la structure de l'épistémologie dès ses origines.

On n'a que peu remarqué que cet « avenir » n'a de sens qu'en supposant implicitement un rapport « naturel » entre l'épistémologie et son objet, c'est-à-dire une origine double, à la fois philosophique et scientifique. Il existe pourtant une autre logique, qui n'est plus tout à fait celle de l'« avenir », mais celle du « futur ». Il faut abandonner l'idée d'une pratique « naturelle » de la philosophie et de l'épistémologie, et leur faire subir un analogue de ce qui s'est passé en géométrie. De « naturels » (le point, la droite, le plan, usuellement), les objets fondamentaux sont devenus des constructions mathématiques, puis des systèmes d'axiomes. Les concepts de « philosophie », de « science », de « technique », ne doivent plus être traités comme s'ils étaient immédiatement donnés et comme si les textes ou les réalisations nous livraient directement à partir des exemples les invariants de chacune. Les « domaines » se sont complexifiés à tel point, offrent tant de mélanges entre eux, qu'il n'est plus possible de faire l'économie d'hypothèses pour les décrire indirectement cette fois. Certains penseraient qu'on y perd la philosophie, puisqu'elle procède classiquement par principe et non par hypothèse. Nous ne sommes pas de cet avis. L'opposition, dans la philosophie, entre principe et hypothèse découle justement du présupposé que le réel et le modèle ont une forme de co-appartenance en

philosophie. Par le recours à des hypothèses, nous pouvons décrire indirectement les postures philosophiques.

Revenons alors à l'épistémologie. Il n'est plus nécessaire, dans l'usage de ses concepts, de reproduire la linéarité historique. Il devient possible, étant donné une situation, de décrire celle-ci indirectement en modélisant des fragments de philosophie des sciences et d'épistémologie, de les articuler, de faire usage des travaux anciens et modernes, en cassant la logique du rapport à l'origine, dont la mécanique classique a tant fait les frais. Il ne s'agit plus de reconduire les oppositions créées par ces linéarités, mais de faire usage de ces notions en prenant toutes les situations non pas comme le fruit des situations passées, mais comme un futur qui ne dépend pas du passé mais peut en rendre compte, permettant donc de nouvelles combinaisons et une modélisation complexe de sa description indirecte, entendons par là celle qui ne confond pas le réel et sa description. Alors, un nouvel usage des concepts de la philosophie des sciences et de l'épistémologie est possible, qui ne laisse plus perdre leur objet dans les pratiques sociologiques ou psychologiques qu'elles ont de toute façon, comme n'importe quelle activité. Alors, la modélisation, la simulation, prendront place dans l'épistémologie non pas comme exceptions à la situation classique, mais comme nouvelles données qui sont parties prenantes de la science.

Anne-Françoise Schmid

Bibliographie pour l'ensemble des contributions⁹

- Althusser, L., 1974, *Philosophie et philosophie spontanée des savants : 1967*, Paris, Maspero.
- Argyros, S., Godefroy, G., Rosenthal, H.P., 2003. Descriptive set theory and Banach spaces, in Johnson, W. B., Lindenstrauss, J. (Eds), *Handbook on Banach Spaces*, Elsevier, vol. 2, 1007-1069.
- Badiou, A., 1969. *Le Concept de modèle*, Paris, Maspero.
- Béziau, J.-Y., 2003. New light on the square of oppositions and its nameless corner, *Logical Investigations*, 9, 3-18.
- Blanché, R., 1966. *Structures intellectuelles : essai sur l'organisation des concepts*, Paris, Vrin.
- Brunschvicg, L., 1912. *Les Étapes de la philosophie mathématique*, Paris, Alcan.
- Canguilhem, G., 1952. *La Connaissance de la vie*, Paris, Hachette.
- Carvalho, S., 2004. *La Controverse entre Stahl et Leibniz sur la vie, l'organisme et le mixte. Doutes concernant la vraie théorie médicale du célèbre Stahl, avec les répliques de Leibniz aux observations stahliennes*, Paris, Vrin.
- Cavaillès, J., 1994. *Œuvres complètes de philosophie des sciences*, Paris, Hermann.
- Charles-Saget, A., 1982. *L'Architecture du divin : mathématique et philosophie chez Plotin et Proclus*, Paris, Les Belles Lettres.
- Clericuzio, A., 2000. *Elements, Principles and Corpuscles. A Study of Atomism and Chemistry in the XVIIIth Century*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Da Costa, N.C.A., 1996. *Logiques classiques et non classiques*, Paris, Masson.
- Dagognet, F., 1973. *Écriture et iconographie*, Paris, Vrin.
- Deleuze, G., Guattari, F., 1996 (1^{re} éd. 1991). *Qu'est-ce que la philosophie ?*, Paris, Minuit.
- Duchesneau, F., 1993. *Leibniz et la méthode de la science*, Paris, PUF.
- Duhem, P., 1906. *La Théorie physique : son objet et sa structure*, Paris, Chevalier et Rivière; réédition Paris, Vrin, 1981 : reproduction en fac-sim. de la 2^e éd., Rivière, 1915.
- Dumoncel, J.-C., 2002a. *Philosophie des mathématiques*, Paris, Ellipses.
- Dumoncel, J.-C., 2002b. La Philosophie des Mathématiques au temps du Postmoderne, *History and Philosophy of Logic*, 23, 2, 121-132.
- Dumoncel, J.-C., 2002c. *La Tradition de la Mathesis Universalis : Platon, Leibniz, Russell*, Paris, L'Unebèvue.
- Dumoncel, J.-C., 2003a. Compte rendu de Giaquinto (2002), *History and Philosophy of Logic*, 24, 244-248.
- Dumoncel, J.-C., 2003b. Compte rendu de Russell, *Correspondance sur la philosophie, la logique et la politique avec Louis Couturat (1897-1913)*, éd. Anne-Françoise Schmid, Paris, Kimé, 2001, *Natures Sciences Sociétés*, 11, 2, 214-217.
- Dumoncel, J.-C., 2003-2004. Le Transfini, les Structures et la Logique. La philosophie mathématique de Russell revisitée, *Cahiers de l'Unebèvue*, hiver 2003-2004.
- Durner, M., 1983. Die Rezeption der zeitgenössischen Chemie in Schellings Frühen Naturphilosophie, in *Natur und Subjektivität: Zur Auseinandersetzung mit der Naturphilosophie des jungen Schelling. Referate, Voten und Protokolle der zweiten internationalen Schelling-Tagung, Zürich, Stuttgart*, Frommann-Holzboog, 15-38.
- Durner, M., 1994. Theorien der Chemie, in *Ergänzungsband zu Schellings Werke, Band 5 bis 9: Wissenschaftstheoretischer Bericht zu Schellings naturphilosophischen Schriften (1797-1800)*, Stuttgart, Frommann-Holzboog, 3-161.
- Finkel, O., Simonnet, P., 2003. Topology and ambiguity in ω -context free languages, *Bulletin of the Belgian Mathematical Society Simon Stevin*, 10, 5, 707-722.
- Giaquinto, M., 2002. *The Search for Certainty: A Philosophical Account of Foundations of Mathematics*, Oxford, Clarendon Press.
- Girard, R., 1961. *Mensonge romantique et vérité romanesque*, Paris, Grasset.
- Granger, G.G., 1998. *L'Irrationnel*, Paris, Odile Jacob.
- Grattan-Guinness, I., 1997. *The Rainbow of Mathematics: A History of the Mathematical Sciences*, New York, London, Norton & Co.
- Grattan-Guinness, I., 2000. *The Search for Mathematical Roots, 1870-1940: Logics, Set Theories and the Foundations of Mathematics from Cantor through Russell to Gödel*, Princeton, Oxford, Princeton University Press.
- Grothendieck, A., 1974. La nouvelle église universelle, in Grothendieck, A., et al., *Pourquoi la mathématique ?*, Paris, UGE, 11-35.
- Hadot, I., 1984. *Arts libéraux et philosophie dans la pensée antique*, Paris, Études augustiniennes, chap. 3, 63-73.
- Horn, L., 1989. *A Natural History of Negation*, Chicago, UCP.

⁹ Les contributions de chaque auteur étant très synthétiques, la liste des références est volontairement plus large que les appels bibliographiques faits dans les textes. Cette bibliographie est une base indispensable pour les situer.

- Jacquette, D. (Ed.), 2002. *Philosophy of Mathematics: An Anthology*, Oxford, Blackwell.
- Lautman, A. 1977. *Essai sur l'unité des mathématiques et divers écrits*, Paris, 10/18.
- Louveau, A., Saint-Raymond, J., 1987. Borel classes and closed games: Wadge-type and Hurewicz-type results, in *Transactions of the American Mathematical Society*, 2, 304, 431-467.
- Mathieu, M., 1998. *Wittgenstein, Finitism and the Foundations of Mathematics*, Oxford, Clarendon Press.
- Moïso, F., 1994. Magnetismus, Elektrizität, Galvanismus, in *Ergänzungsband zu Schellings Werke*, Band 5 bis 9: *Wissenschaftsthistorischer Bericht zu Schellings naturphilosophischen Schriften (1797-1800)*, Stuttgart, Frommann-Holzboog, 165-372.
- Morgan, M.S., Morrisson, M. (Eds), 1999. *Models as Mediators*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Mutschler, H.D., 1990. *Spekulative und empirische Physik: Aktualität und Grenzen der Naturphilosophie Schellings*, Stuttgart, Kohlhammer, 109-134.
- O'Meara, D.J., 1989. *Pythagoras Revived: Mathematics and Philosophy in Late Antiquity*, Oxford, Clarendon Press.
- Pälike, D., 1977. Wissenschaftstheoretische Aspekte in Schellings naturphilosophischer Interpretation der Chemie, in Lange, E. (Ed.), *Die Philosophie des jungen Schelling: Beiträge zu Schelling-Rezeption in der DDR*, Weimar, Collegium philosophicum Jenense, 114-131.
- Panofsky, E., 1997 (1^{re} éd. 1976). *La Perspective comme forme symbolique*, Paris, Minuit.
- Proclus, 1911. *In primum Euclidis Elementorum librum commentarium*, ex recognitione G. Friedlein, Leipzig, G.B. Teubner.
- Proclus, 1967. *Commentaire sur le Timée*, Livre II, Paris, Vrin.
- Riegl, A., 1978. *Grammaire historique des arts plastiques*, Paris, Klincksieck.
- Russell, B., 2001. *Correspondance sur la philosophie, la logique et la politique avec Louis Couturat (1897-1913)*, éd. et comment. A.-F. Schmid, Paris, Kimé.
- Schelling, F.W.J., 1927a. *Von der Weltseele, eine Hypothese der höheren Physik zur Erklärung des allgemeinen Organismus [1798]; Einleitung zu dem Entwurf eines Systems der Naturphilosophie oder über den Begriff der spekulativen Physik und die innere Organisation eines Systems dieser Wissenschaft [1799]*, in *Schellings Werke: Jugendschriften 1793-1798*, hrsg. von M. Schröter, München, C.H. Beck, 413-651; 269-326.
- Schelling, F.W.J., 1927b. *Allgemeine Deduktion des dynamischen Prozesses oder Kategorien der Physik*, in *Schellings Werke: Schriften zur Naturphilosophie 1799-1801*, hrsg. von M. Schröter, München, C.H. Beck, 635-712.
- Schelling, F.W.J., 1956. *Ideen zu einer Philosophie der Natur [1797]*, in *Schellings Werke: Zur Naturphilosophie 1792-1803*, hrsg. von M. Schröter, München, 77-350.
- Schelling, F.W.J., 1969. *Zeitschrift für spekulative Physik [1800-1801]; Neue Zeitschrift für spekulative Physik [1802]*, hrsg. von Schelling, Hildesheim, G. Olms Verlagsbuchhandlung.
- Schmid, A. F., 1998. *L'Âge de l'épistémologie : science, ingénierie, éthique*, Paris, Kimé.
- Schneider, M., 1993. *Das mechanistische Denken in der Kontroverse Descartes' Beitrag zum Geist-Maschine Problem*, Studia leibniana Supplementa.
- Scholz, E., 1994. Schelling und die dynamistische Kristallographie, in *Jahrbuch für Komplexität in der Natur-Sozial- und Geisteswissenschaften*, 5. *Schelling und die Selbstorganisation: Neue Forschungsperspektiven*, hrsg. von M.L. Heuser-Kessler, W.H. Jacobs, Berlin, Duncker und Humblot, 219-230.
- Suppes, P., Béziau, J.-Y., 2004. Semantic computation of truth based on associations already learned, *Journal of Applied Logic*, 3, 189-198.
- Suppes, P., Chuaqui, R., 1993. A finitary consistent free-variable positive fragment of infinitesimal analysis, in *Proceedings of the IX Latin American Symposium on Mathematical Logic*, Bahia Blanca, Universidad Nacional del Sur, 1-59.
- Varenne, F., 2003a. La simulation informatique face à la « méthode des modèles ». Le cas de la croissance des plantes, *Natures Sciences Sociétés*, 11, 1, 16-28.
- Varenne, F., 2003b. La simulation conçue comme expérience concrète, in *Le Statut épistémologique de la simulation, 10^{es} Journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, 26 janvier-2 février 2003*, Paris, ENST, 299-313.
- Varenne, F., 2006. *Les Notions de métaphore et d'analogie dans les épistémologies des modèles et des simulations*, présenté par Schmid, A.-F., Paris, Pétra.
- Vasiliev, N., 1910. *On particular Judgments: the Triangle of Oppositions and the Law of Excluded Fourth*, Kazan, Kazan University Press.
- Winderlich, R., 1939. Schelling und die Chemie, in *Chemiker-Zeitung*, 63-86, 680 sqq.
- Winter, M., 1911. *La Méthode dans la philosophie des mathématiques*, Paris, Alcan.