

Sandra Pravica

Enveloppement – Bachelard et les philosophies de l'induction

1. Introduction

« Le philosophe doit [...] infléchir son langage pour traduire la pensée contemporaine dans sa souplesse et sa mobilité¹ ». Une invitation à faire preuve de flexibilité est chose rare en philosophie. Bachelard, que j'ai cité ici, voit dans la capacité de changement et la faculté d'adaptation des éléments positifs pour la philosophie des sciences de son époque, ou plutôt, pour son langage. La philosophie de Bachelard se révèle toutefois résolument inflexible lorsqu'il s'agit de concevoir épistémologiquement les mathématiques. Mais celle-ci est à son tour une caractéristique centrale de la philosophie des sciences de Bachelard et, d'une certaine manière, une condition de sa flexibilité revendiquée.

Cet article présente la conception philosophique que Bachelard développe à propos des mathématiques dans la pensée scientifique à travers son concept de l'induction et de ses évolutions successives. Afin de mettre en évidence sa spécificité, cette conception sera confrontée à des positions sur l'induction issues de l'empirisme logique de la première moitié du XX^e siècle, donc formulées à la même époque que celle de Bachelard. Je soutiens que pour Bachelard, ce concept garde son importance tout au long de sa réflexion sur le problème de l'induction, quand, à la même période, ses contemporains l'abandonnent et le rejettent hors des limites de la philosophie.

Dans sa formulation d'une "nouvelle philosophie des sciences", Bachelard conteste vivement le concept des mathématiques avancé par Bertrand Russell et Gottlob Frege. Celui-ci représentait un élément fondateur de l'empirisme logique, et plaçait au premier plan des sujets tels que l'analyticité mathématique et la possibilité de fonder les mathématiques sur la logique. Mary Tiles soutient que ce clivage, qui va au-delà de la philosophie de l'empirisme logique, est également lié à la philosophie "analytique" de la science : « It is over the nature of mathematics and of mathematical thought that Bachelard differs most radically from analytic philosophers of science² ». Qu'est-ce que Bachelard oppose

¹ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, Paris, Alcan, 1934, p. 7.

² Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984, p. 67-68.

positivement à la conception qu'il rejette ? Pour les sciences naturelles comme pour les mathématiques, il n'argumente ni en général ni en principe, mais sur la base de l'actualité scientifique, de l'état contemporain des connaissances scientifiques. Bachelard considère qu'une conception "correcte" des mathématiques est la condition pour que la nouveauté pertinente de la pensée scientifique devienne accessible : « Ce qui peut donner lieu de penser que l'esprit scientifique reste au fond de même espèce à travers les rectifications les plus profondes, c'est qu'on n'estime pas à sa juste valeur le rôle des mathématiques dans la pensée scientifique³ ». La place prise par les développements de la physique du début du vingtième siècle, sur lesquels écrit Bachelard, étaient de la « théorie mathématique », constituait à l'époque une nouveauté⁴. Cependant, ce n'est pas simplement le "plus" quantitatif des mathématiques qui explique pourquoi Bachelard considère qu'il est inévitable de redéfinir la pensée mathématique pour l'épistémologie. Les mathématiques ont contribué de manière constructive et productive à la recherche scientifique comme à aucune période auparavant⁵. Bachelard affirme que les mathématiques ont endossé la tâche de « découvrir » dans les sciences naturelles⁶.

Le terme d'"induction" est omniprésent dans l'élaboration conceptuelle par Bachelard de l'activité de découverte et de production mathématique. D'une manière générale, on désigne par "inférences inductives" les inférences tirées de ce qui est observé et appliquées à ce qui ne l'est pas ou généralisées en lois. La question des fondements épistémologiques, logiques ou méthodologiques des croyances sur le non-observé, sur la base d'inférences inductives, est généralement appelée "problème de l'induction"⁷. Contrairement à aujourd'hui, l'"induction", en tant que concept et problème, était en son temps un terrain épistémologique contesté et faisait l'objet d'un vif débat, notamment parmi les représentants de l'empirisme logique. La question s'impose donc de savoir dans quelle mesure les réflexions de Bachelard sur l'"induction" proposent également des solutions aux questions sur ce même sujet dans le contexte de l'empirisme logique. Il faut tout d'abord mettre en évidence la manière dont Bachelard définit « l'activité de découverte » et « l'activité de production » des mathématiques, en y introduisant l'"induction". Afin de dessiner les contours de la spécificité du concept d'induction de Bachelard, il est ensuite nécessaire de discuter de l'induction dans le contexte de l'empirisme logique des années 1930. Finalement, je montre comment Bachelard utilise le terme d'"induction" de manière de plus en plus idiomatique, et que le "problème" de l'induction s'en trouve ainsi déplacé vers une nouvelle position en philosophie des sciences.

³ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 57.

⁴ Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, p. 66.

⁵ *Ibid.*

⁶ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 58.

⁷ Henderson, L., «The problem of induction», in *Stanford Encyclopedia of Philosophy* 2018, <https://plato.stanford.edu/entries/induction-problem/> (dernière révision 14 juin 2022).

2. Force de découverte des mathématiques

Au vingtième siècle, la force de découverte scientifique, selon Bachelard, « est presque complètement passée à la théorie mathématique »⁸. Au lieu de développer de vastes discussions théoriques à l'appui de sa thèse, il illustre, avec des exemples d'avancées scientifiques récentes, le nouveau rôle productif et innovant des mathématiques qu'il a observé. Néanmoins, on trouve aussi des remarques systématiques (mais pas « d'argumentation systématique », comme le remarque Tiles⁹) concernant des attributs particuliers des mathématiques et de leurs applications que Bachelard considère comme constitutifs par rapport à la nouvelle pensée philosophique des sciences. Ses réflexions se concentrent peu sur les débats fondamentaux concernant les mathématiques, très actuels dans la première moitié du XX^e siècle¹⁰. Bachelard porte son attention sur les mathématiques « actives » dans les sciences naturelles, entre autres sur ses applications en physique et en chimie¹¹. Il convient tout d'abord d'évoquer un débat particulier sur un thème traditionnel de la philosophie des mathématiques, et mentionné dans la thèse principale de Bachelard sur la connaissance approchée¹². Ce débat constitue (au-delà même du lien étroit avec l'« induction ») un arrière-plan pertinent pour certains arguments sur lesquels Bachelard revient régulièrement. Il ne s'agira ici que d'une esquisse.

Dans l'histoire et la philosophie des mathématiques, la question de savoir si la géométrie peut être entièrement pensée à partir de l'arithmétique et de l'analyse mathématique ou si elle peut s'édifier sur d'autres fondements constitue une importante ligne de partage¹³. « L'arithmétisation » de la géométrie permet d'établir des correspondances univoques entre des entités géométriques telles que le point, la ligne ou le plan et des nombres ou des ensembles de nombres, et d'établir des correspondances similaires entre ces relations géométriques et des relations entre nombres¹⁴. Dans le chapitre « Intuition et réalisme en mathématiques »¹⁵ de *l'Essai sur la connaissance approchée*, Bachelard met en avant plusieurs contributions à l'arithmétisation. Celles-ci fournissent des fondements « rationnels », au sens qu'il

⁸ Bachelard, G., « Noumène et microphysique », in Bachelard, G., *Études*, Paris, PUF, 1970, p. 15.

⁹ Tiles, M., 1984, XVIII.

¹⁰ Granger, G. G., « Le rationnel selon Gaston Bachelard », in Lafrance, G., (ed.), *Gaston Bachelard. Profils épistémologiques*, Ottawa, Presses de l'Université d'Ottawa, 1987, p. 19-20 ; Martin, R., « Bachelard et les mathématiques », in Centre Culturel International (ed.), *Bachelard. Colloque de Cerisy*, Paris, Union Générale d'Éditions, 1974, p. 59-60 ; Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, p. 71.

¹¹ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, Paris, PUF, 1949, p. 21 et p. 119 ; voir aussi : Martin, R., « Bachelard et les mathématiques », p. 58 ; ainsi que : Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, p. 71.

¹² Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, Paris, Vrin, 1927 ; Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, p. 71 ; et Granger, G. G., « Le rationnel selon Gaston Bachelard », p. 19.

¹³ Körner, S., *Philosophie der Mathematik. Eine Einführung*, Munich, Nymphenburger Verlagsbuchhandlung, 1968, p. 79.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 169-191.

donne à ce mot, à savoir qu'elles permettent de s'abstraire de références à l'intuition ou à une représentation visuelle¹⁶. Dans ce contexte, un argument d'ordre général serait, par exemple, qu'une réflexion fondée sur l'intuition est erronée lorsque le calcul tend vers l'infiniment petit et va au-delà du perceptible¹⁷. Avec l'intégration des méthodes infinitésimales dans la géométrie analytique, le concept de *continuum*, qui joue un rôle important dans ce débat, est "arithmétisé". Auparavant, un tel concept était supposé « primitif », comme le déclare Tiles¹⁸. Ainsi, au XIX^e et au début du XX^e, le *continuum* acquiert une structure, il est conçu comme composé d'un nombre incalculable de points et peut être fondé au moyen d'une axiomatique¹⁹. Une structure ou une qualité peut donc être représentée mathématiquement sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir une représentation visuelle ou la notion de vision²⁰. Bachelard se réjouit que la référence à l'intuition puisse ainsi être rendue caduque²¹. D'une manière générale, Bachelard attribue une valeur épistémologique positive à une abstraction mathématique croissante dans la pensée scientifique²².

Le fait que Bachelard prenne une position positive sur la question de l'arithmétisation et de la géométrie analytique mérite aussi d'être mentionné. Une telle attitude affirmative correspond en fin de compte aussi à certaines conceptions de ce qu'on appelle le "logicisme", d'où part le projet réductionniste des mathématiques²³, auquel Bachelard s'oppose justement par sa conception de la productivité et de l'innovation mathématiques²⁴. Le projet de fonder définitivement les mathématiques sur le logicisme a posé de nouveaux problèmes au début du XX^e siècle²⁵. Mais Bachelard rejette toutes les approches disponibles dans le débat philosophique, parfois étroitement liées à la philosophie des sciences, pour fonder les mathématiques : essentiellement le "logicisme", le "formalisme" et "l'intuitionnisme"²⁶. Un regard processuel sur les mathématiques et les sciences naturelles lui permet de faire abstraction des problématiques des fondements²⁷.

¹⁶ *Ibid.*, ainsi que Granger, G. G., « Le rationnel selon Gaston Bachelard », p. 19.

¹⁷ Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 170-172; Tiles M., *Bachelard. Science and Objectivity*, p. 70.

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ *Ibid.*

²⁰ *Ibid.*, p. 71.

²¹ Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 174-175.

²² Pariente, J.-C., « Rationalisme et ontologie chez Gaston Bachelard », in Lafrance, G. (ed.), *Gaston Bachelard. Profils épistémologiques*, Ottawa, Presses de l'Université d'Ottawa, 1987, p. 33-36 ; ainsi que : Bachelard, Gaston, *La Formation de l'esprit scientifique. Contribution à une Psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, Vrin, 1947.

²³ Körner, *Philosophie der Mathematik*, p. 79-80.

²⁴ Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 172. Il se réfère entre autres à Russell, B., *Essai sur les fondements de la géométrie*, Paris, Gauthier-Villars, 1901.

²⁵ Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, p. 71. Les démonstrations de Kurt Gödel réfutant la non-contradiction des mathématiques ont été déterminantes à cet égard. Körner, S., *Philosophie der Mathematik*, p.108-115.

²⁶ Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, p. 79.

²⁷ Bachelard développe des concepts originaux dans sa façon de voir les mathématiques. Sa conception présente cependant, de manière générale, des points de convergence avec celles de

L'application des géométries non euclidiennes à la physique représente, selon Bachelard, une impulsion déterminante pour la « nouvelle pensée scientifique » qu'il veut formuler²⁸. Selon lui, grâce à elles, les problèmes de philosophie des sciences se posent à nouveau et doivent être examinés au-delà de la logique et du conventionnalisme²⁹. La découverte de géométries non euclidiennes a permis de remplacer une géométrie unique par plusieurs géométries non contradictoires entre elles³⁰. Celles-ci ont été appliquées à la physique à plusieurs reprises. La géométrie dite "riemannienne" a par exemple vu son importance grandir avec son application à la théorie de la relativité générale³¹. Bachelard extrait de la dynamique particulière de l'émergence de la géométrie non-euclidienne un modèle de pensée ou paradigme qui, dans un sens général, rend en quelque sorte "culturellement" accessibles les traits épistémologiques des nouveaux domaines des sciences naturelles : « On accède donc à la culture physico-mathématique en revivant la naissance de la géométrie non-euclidienne qui a été la première occasion de la diversification des axiomatiques³² ». En se basant sur la transformation qu'a subie la notion de droite dans l'histoire de la géométrie, Bachelard illustre le "principe philosophique" correspondant³³. La droite définie par le parallélisme (auparavant quintessence de la droite) s'avère être, suivant la géométrie non-euclidienne, une forme particulière d'un concept plus général de la droite³⁴. Ainsi, ce qui était général et simple devient, au cours d'une différenciation et d'une complication, un cas particulier d'un nouveau concept du général. De la même manière, la géométrie euclidienne peut être considérée comme un cas particulier d'un concept plus général de la géométrie³⁵. Le "mouvement vers l'avant" ainsi indiqué par un "recul" d'une chose auparavant générale et devenue un cas particulier, est une première caractéristique à retenir au regard des réflexions de Bachelard sur la nouvelle productivité mathématique.

Suivant cette thématique, Bachelard met en évidence une deuxième caractéristique importante de l'activité mathématique dans la nouvelle physique. Granger fait remarquer que Bachelard a vu, plus que d'autres, les « défis symétrisants » posés par les « structures mathématiques » de la physique³⁶. Il s'agit d'un "tendre vers" la cohérence. Selon Bachelard, celle-ci est en partie responsable de la dynamique de mise en pratique particulière à la recherche scientifique, c'est-à-dire à la fois du fait que nous avons de plus en plus affaire à un réel scientifique "fabri-

Jean Cavailles, qui (contre le logicisme et le formalisme, entre autres) définit les mathématiques comme un « devenir » « autonome » et « singulier ». Cavailles, J., « La pensée mathématique », *Bulletin de la société française de philosophie*, Séance du 4 février 1939, 1946, p. 2.

²⁸ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 23-44.

²⁹ *Ibid.*, p. 23-24.

³⁰ Serres M. et Farouki, N. (eds.), *Thesaurus der exakten Wissenschaften*, Francfort/Main, Zweitausendeins, 2004, p. 687.

³¹ *Ibid.*, p. 332.

³² Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 44.

³³ *Ibid.*, p. 26-28.

³⁴ *Ibid.*

³⁵ *Ibid.*, p. 31.

³⁶ Granger, G. G., « Le rationnel selon Gaston Bachelard », p. 17.

qué” et du fait que sa “force de conviction” lui est déjà inhérente³⁷ : « Peu à peu, c’est la cohérence rationnelle qui en vient à supplanter en force de conviction la cohésion de l’expérience usuelle »³⁸. Bachelard explique ce qu’il entend par “cohérence”, à nouveau à partir de l’émergence des nouvelles géométries : ce qu’ont en commun les géométries opposées, la correspondance entre elles, constituerait une “réalité”³⁹. Dans ce contexte, une “mise en pratique” conçue comme un processus se substitue à l’instance de la “réalité”. « [Q]uand les relations déjà nombreuses réclament un complément, on peut saisir en action la fonction épistémologique essentielle à toute réalisation »⁴⁰. Bachelard y voit même la possibilité de définir une « réalité matérielle »⁴¹. La réalité qui en résulte et qui “se fabrique” est de nature relationnelle. Seule une multitude de relations est en mesure de fournir la « base d’un réalisme »⁴², de constituer une « objectivation achevée »⁴³, pour reprendre le vocabulaire de Bachelard. Il en émerge « une aspiration au complet »⁴⁴.

Si Bachelard fait appel à la géométrie non-euclidienne pour expliquer l’*esprit* d’une nouvelle culture scientifique, cela ne signifie pas pour lui que la pensée en géométrie euclidienne “à angle droit” n’a plus lieu d’être. Celle-ci reste pour lui une sorte de point de départ cognitif⁴⁵. Dans le sillage de la nouvelle pensée mathématique, un « dédoublement », pour reprendre l’expression de Bachelard, s’opère toutefois nécessairement par le fait que les théories sont désormais liées à la définition d’un système d’axiomes : « Désormais, un système d’axiomes *accompagne* le développement scientifique »⁴⁶. Ainsi, l’éventail des systèmes axiomatiques pré-définit désormais le spectre des “expériences scientifiques” possibles⁴⁷. Bachelard fait remarquer que le réel scientifique issu de la « réalisation » est donc constitué par du probable. L’immédiat, selon Bachelard, est « hypothétique maintenant »⁴⁸, on cherche alors « du côté de l’abstrait les preuves de la cohérence du concret »⁴⁹. Ainsi, “l’hypothétique” acquiert une nouvelle pertinence épistémologique. Pariente constate qu’en amont de la recherche, les mathématiques définissent à chaque fois le champ des possibles selon une cohérence rationnelle⁵⁰. La troisième caractéristique importante qui apparaît avec l’incorporation des mathématiques

³⁷ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 32-37.

³⁸ Bachelard, G., « Noumène et microphysique », p. 15.

³⁹ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 30-32. Par exemple, Bachelard parle du fait que « la réalité d’une ligne se fortifie par la multiplicité de ses appartenances à des surfaces variées [...] ». *Ibid.*, p. 28.

⁴⁰ *Ibid.*, p. 34.

⁴¹ *Ibid.*, p. 28.

⁴² *Ibid.*, p. 34.

⁴³ *Ibid.*, p. 37.

⁴⁴ *Ibid.*, p. 36-37.

⁴⁵ *Ibid.*, p. 36, « L’euclidisme reste la pensée ingénue, celle qui servira toujours de base à la généralisation. »

⁴⁶ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 36.

⁴⁷ *Ibid.*, p. 43-44.

⁴⁸ Bachelard, G., « Noumène et microphysique », p. 16.

⁴⁹ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 44.

⁵⁰ Pariente, J.-C., *Le Vocabulaire de Bachelard*, Paris, Ellipses, 2001, p. 25.

dans la physique moderne est l'apodicticité des objets scientifiques⁵¹. Cela signifie que le réel scientifique possède désormais une facticité inhérente. Il apporte déjà pratiquement sa propre valeur de preuve⁵².

En plus de ces "remarques systématiques", comme je les appelle, Bachelard expose, à l'aide d'exemples tirés du contexte de la physique quantique et des théories de la relativité, ce qu'il entend par « activité synthétique » (ou productivité) des sciences mathématiques de la nature. Mais pas seulement. Les concepts épistémologiques de Bachelard ont une "profondeur historique" au sens d'une épistémologie récurrente et peuvent être mis en évidence par des événements scientifiques antérieurs dans ce qu'ils condensent ou rendent compréhensibles sur le plan conceptuel⁵³. On peut, par exemple, voir dans quelle mesure la « tendance à la cohérence » introduite plus haut, que Bachelard met en évidence dans les mathématiques, est "productive" en se référant au tableau périodique des éléments que Dimitri I. Mendeleïev a élaboré en 1869⁵⁴. Le tableau périodique classe les éléments en fonction de leur période et de leur masse atomique. Ce sont les relations des éléments entre eux qui constituent un système⁵⁵. Le « concept quantitatif d'octave chimique » fait alors office de « loi de construction » numérique qui fournit le cadre du « réel ». Ce n'est pas « une substance au-delà de ses attributs » qui détermine la « réalité » spécifique des corps chimiques, mais leur corrélation horizontale et verticale dans le tableau, comme le l'explique Pariente⁵⁶. Contrairement à la "nouvelle" physique souvent invoquée par Bachelard, le chimiste parvenait encore plus ou moins à une réorganisation théorique par la voie "empirique"⁵⁷. Néanmoins, le classement périodique entraîne précisément le renversement du principe de réalité scientifique sur lequel insiste Bachelard. Même les lacunes laissées dans un premier temps dans le tableau périodique se révèlent "productives" avec cette conception épistémologique :

Il [Mendeleïev] a également eu l'intuition géniale de laisser des places libres pour des éléments jusqu'alors inconnus, qui furent découverts plus tard. Ce n'est qu'avec le développement de la physique quantique vers 1930 que le rôle organisateur de la charge nucléaire a été reconnu et que la pertinence de la classification de Mendeleïev a été confirmée⁵⁸.

⁵¹ Bachelard, G., *L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, PUF, 1965, p. 28.

⁵² Holm Tetens indique en ce sens que les nouveaux phénomènes scientifiques en laboratoire sont « réalisés » de telle sorte qu'« ils satisfont au principe de causalité ». Voir Tetens, H., *Experimentelle Erfahrung: eine wissenschaftstheoretische Studie über die Rolle des Experiments in der Begriffs- und Theoriebildung der Physik*. Hambourg, Meiner, 1987, p. 4.

⁵³ Voir, sur la « récurrente » en épistémologie, Canguilhem, G., « Die Geschichte der Wissenschaften im epistemologischen Werk Gaston Bachelards », in *Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie*, Wolf Lepenies (ed.). Frankfurt/Main, Suhrkamp, 1979, p. 14-17.

⁵⁴ Bachelard, G., *La Philosophie du non*, Paris, PUF, 1940, p. 54-56; *idem*, *Le Matérialisme rationnel*, Paris, PUF, 1953, p. 91-97; *idem*, *Le Pluralisme cohérent de la chimie moderne*, Paris, Vrin, 1932, p. 85-87.

⁵⁵ Wussing, H. (ed.) et Brentjes, S., *Geschichte der Naturwissenschaft*, Cologne-Leipzig, Aulis-Verlag Deubner, 1983, p. 405-407.

⁵⁶ Pariente, J.-C., « Rationalisme et ontologie chez Gaston Bachelard », p. 30-31.

⁵⁷ Serres M. et Farouki, N. (eds.), *Thesaurus der exakten Wissenschaften*, Frankfurt/Main, Zweitausendeins, 2001, p. 696.

⁵⁸ *Ibid.* (Trad. Franck Loric).

Ainsi, un « souci de *complétude* »⁵⁹ des mathématiques, soulignée par Bachelard, s'exemplifie dans l'application scientifique. « [U]ne doctrine qui s'appuie sur une systématisation interne », écrit-il, « provoque l'occasion, construit ce qu'on ne lui donne pas, complète et achève héroïquement une expérience décousue »⁶⁰.

De plus, selon Bachelard, la contribution du mathématicien et physicien Gabriel Lamé concernant la formulation mathématique de la conduction thermique constitue le meilleur guide pour comprendre et inventer⁶¹. Les représentations mathématiques successives du problème physique de la conduction thermique dans les solides au cours du XIX^e siècle a été exposée en détail par Bachelard dans sa *thèse complémentaire* sur l'histoire des sciences⁶². Il affirme qu'au XVIII^e siècle, toute formulation mathématique pertinente du phénomène thermique a été “entravée” par des concepts trop influencés par l'expérience concrète de la manière dont une barre métallique s'échauffe⁶³. L'intervention mathématique décisive commence avec Jean Baptiste Biot, qui est le premier à intégrer le concept *calorifique* alors accepté (qu'il faut se représenter comme une sorte de substance thermique) dans un calcul infinitésimal⁶⁴. Bachelard résume un peu plus tard les étapes décisives de la “mathématisation” de la conduction thermique dans l'article « La richesse d'inférence de la physique mathématique »⁶⁵. Cet article de 1931 fournit des indications sur l'orientation que Bachelard donne au concept d'induction. Il indique vouloir montrer que les mathématiques appliquées à la physique représentent “un véritable pouvoir de diversification” et “la source de la curiosité scientifique”⁶⁶. Je n'aborde que l'examen rendu possible, selon Bachelard, par l'intervention de Lamé. Il l'avait déjà souligné dans *Étude* : « Avec Lamé, le calcul doit tout faire. Il doit fournir l'hypothèse, coordonner les domaines, construire de toutes pièces le phénomène. Non pas étudier les lois, mais les découvrir. »⁶⁷

L'instant décisif se situe au moment où, après avoir envisagé le problème de la conduction thermique en relation avec les systèmes cristallins, Lamé a découvert la propriété d'“anisotropie” des cristaux. Celle-ci met en rapport la conductivité et le sens de conduction⁶⁸. Lamé, qui recherche la généralisation la plus étendue dans la représentation de la conduction thermique cristalline, montre que le postulat de commutativité dans l'équation formulée avant lui par Jean-Marie C. Duhamel se comporte de manière restrictive par rapport à la généralisation, et empêche donc

⁵⁹ Bachelard, G., *La Philosophie du non*, p. 55.

⁶⁰ *Ibid.*

⁶¹ Bachelard, G., « La richesse d'inférence de la physique mathématique », in *L'Engagement rationaliste*, Paris, 1972, p. 117.

⁶² Bachelard, G., *Étude sur l'évolution d'un problème de physique. La propagation thermique dans les solides*, Paris, Vrin, 1927.

⁶³ *Ibid.*, p. 24.

⁶⁴ *Ibid.*, p. 25-32.

⁶⁵ Bachelard, G., « La richesse d'inférence de la physique mathématique », op.cit.

⁶⁶ *Ibid.*, p. 110.

⁶⁷ Bachelard, G., *Étude sur l'évolution d'un problème de physique*, p. 104.

⁶⁸ *Ibid.* p. 116-118.

cette dernière. Enfin, il découvre que l'hypothèse de Duhamel (à savoir que la conductivité est la même dans toutes les directions) doit être comprise comme un cas particulier des systèmes cristallins qui se révèlent généralement anisotropes, et ce à plusieurs égards. On reconnaît ici le "modèle" introduit par Bachelard à partir de l'exemple de la géométrie non euclidienne, et qu'il a finalement différencié et concrétisé en tant qu'"induction". Par « nécessité mathématique », souligne-t-il, les modifications qui simplifient et généralisent le résultat d'un calcul se traduiraient à la fois par une équation plus complexe et par une différenciation et une diversification « matérielles »⁶⁹. L'exemple illustre, selon la formule de Maurice Loi, comment la démarche mathématique produit des différences fonctionnelles pour une matière qui ne présentait pas de structures distinctes auparavant⁷⁰. Il faut ajouter que Bachelard met aussi en évidence la réciprocité des apports entre la physique mathématique et les mathématiques. Il parle d'une « impulsion » que ces dernières reçoivent dans leur application à la « matière » correspondant en physique et souligne que la physique mathématique produit en même temps des « mathématiques physiques »⁷¹.

Une leçon, correspondant à celle de l'exposé de Lamé sur l'anisotropie, peut être tirée d'un exemple que Bachelard prend de la physique qui lui est contemporaine. Il y a même recours à plusieurs reprises dans l'introduction du *Nouvel esprit scientifique*⁷². Il met en évidence la productivité mathématique et expérimentale (dans le sens de production d'un potentiel, de différences) à partir du fameux "dualisme onde-particule" de la physique quantique et de sa formalisation. La non-commutativité de certains opérateurs introduit dans la réalité scientifique, tant au niveau conceptuel qu'instrumental, un moment de décision incontournable. Pour la théorie, la non-commutativité des opérateurs particuliers au formalisme de la physique quantique correspond à ce qui est présenté par des moyens expérimentaux comme une « problème de localisation ». Il en résulte une réalité matérielle inhabituelle où s'ouvrent deux voies (ou bien deux côtés se montrent), dont la nature concrète, pour simplifier, dépend de la réponse à la question : faut-il d'abord mesurer la position ou la vitesse d'une "particule"⁷³ ? De même, ce que l'on appelle "équation de Dirac" pourrait être un autre exemple de la conception de Bachelard de la productivité « matérielle » de la « nécessité mathématique » en physique⁷⁴.

Les caractéristiques et les thèmes par lesquels Bachelard introduit l'« inventivité » et la « productivité » mathématiques peuvent être résumés comme suit : (1) le développement de la géométrie non euclidienne comme "modèle d'explica-

⁶⁹ *Ibid.* p. 117-118.

⁷⁰ Loi, M., « Bachelard et les mathématiques », in Lafrance (ed.), *Gaston Bachelard. Profils épistémologiques*, Ottawa, Presse de l'Université d'Ottawa, 1987, p. 50.

⁷¹ Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 190 ; *idem*, « La richesse d'inférence de la physique mathématique », p. 118.

⁷² Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*.

⁷³ Neumann, J. v., *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin, Springer, 1968, p. 222-237 ; Serres M. et Farouki, N., *Thesaurus der exakten Wissenschaften*, p. 308.

⁷⁴ Bachelard, G., *La Philosophie du non*, p. 32-35.

tion” ; (2) une tendance à la cohérence “productrice de réalité” ; (3) la nécessité de décider d’un système d’axiomes et du cortège “hypothétique” d’objets scientifiques qui en découle ; (4) l’apodicticité du réel de la connaissance produite. Ces quatre caractéristiques, et les exemples qui les illustrent, offrent des points de repère essentiels pour la réinterprétation épistémologique du concept d’induction par Bachelard. Dans le chapitre suivant, j’expose comment le problème de l’induction a été abordé dans les années 1930 par certaines personnalités de l’empirisme logique. Les parties 4 et 5 doivent ensuite permettre d’étudier cette nouvelle orientation.

3. L’induction comme problème

En 1905, Ernst Mach écrivait dans *Erkenntnis und Irrtum (La Connaissance et l’Erreur)* : « Mais les opinions que les différents représentants de la méthodologie des sciences naturelles ont sur ce qu’il faut proprement appeler induction sont très différentes, aussi bien en général qu’en particulier lorsqu’il s’agit d’applications spécifiques »⁷⁵. Son opinion sur la pluralité fondamentale des conceptions de l’induction dans la démarche scientifique s’inspire de Mach et dans un contexte de réflexion à partir d’importants “classiques” du débat philosophique sur le problème de l’induction, comme Aristote, John Stuart Mill et William Whewell⁷⁶. C’est également vrai pour les auteurs contemporains des travaux de la première moitié de la carrière de Bachelard.

Le “problème” de l’induction (dans sa conception traditionnelle) est qu’elle présente une sorte de lacune logique lorsqu’on l’examine attentivement. L’induction, en tant que syllogisme et que mode de raisonnement logique, tel qu’entre autres entendu méthodiquement en philosophie des sciences, est fondamentalement prévue pour fournir une relation cohérente entre les prémisses et la conclusion. En ce sens, elle est conçue comme un instrument garantissant la validité des énoncés sur le monde et, par conséquent, soutenant la vérité des connaissances. Cependant, contrairement à la déduction, la validité des prémisses dans une inférence inductive n’assure pas la validité de la conclusion. Car son résultat va au-delà de ses prémisses. L’induction est donc une procédure d’*extension*. Sur la base d’un nombre limité de cas observés ou donnés, on tire une conclusion générale qui englobe aussi bien les cas observés que les cas inobservés, c’est-à-dire *tous* les cas possibles. La difficulté est, pour reprendre l’expression de Nelson Goodman, d’une manière générale et en l’accentuant dans le temps que : « Les prédictions se réfèrent justement à ce qui n’a pas encore été observé. Et elles ne se déduisent pas logiquement de ce qui a été observé, car ce qui *est* arrivé n’impose aucune restriction logique à ce qui *va* arriver⁷⁷ ». Malgré sa

⁷⁵ Mach, E., *Erkenntnis und Irrtum*, Leipzig, Barth, 1905, p. 308 (trad. F. L.).

⁷⁶ *Ibid.*, p. 299-310.

⁷⁷ Goodman, N., *Tatsache, Fiktion, Voraussage*, Frankfurt/Main, Suhrkamp, 1975, p. 81 (trad. F. L.).

nature irrémédiablement problématique, le principe d'induction a fait l'objet pendant des siècles de discussions philosophiques et méthodologiques sur les sciences empiriques et expérimentales, notamment parce qu'il est étroitement lié aux thèmes épistémologiques de la découverte et de la prédiction. Le terme "induction" est associé à des questions telles que la création de nouvelles connaissances ou l'élargissement des connaissances existantes. Hume a été le premier à commenter la tension liée à l'induction par un "néanmoins" pragmatique, et à en accepter le principe malgré son ambiguïté⁷⁸. Toutefois, depuis la fin du XX^e siècle au moins, l'"induction" n'est plus un problème brûlant en philosophie des sciences⁷⁹. Comme la plupart des philosophes des sciences, Ian Hacking estime que le "problème philosophique" de l'induction n'est plus pertinent au regard des sciences expérimentales actuelles⁸⁰.

Contrairement à aujourd'hui, le principe d'induction a fait l'objet de débats animés dans les années 1920 et 1930. Son rôle dans l'épistémologie était un sujet controversé, notamment parmi les philosophes proches de l'empirisme logique. Dans ce contexte, Hans Reichenbach était un partisan de l'utilisation épistémologique de l'"induction". Suivant l'attitude "pragmatique" de Hume, il insiste sur le caractère indispensable du principe d'induction dans la science et l'épistémologie, comme il ressort de plusieurs articles de 1934⁸¹. Outre la « relation d'imprécision » de Heisenberg, « le problème de l'induction » est pour lui l'une des deux sources qui « font entrer le concept de probabilité dans la problématique de la connaissance »⁸². Reichenbach redéfinit l'inférence inductive dans le cadre d'une logique de la probabilité qu'il formule en dépassant la logique bi-

⁷⁸ Körner, S., « Induktion, II. Neuzeit », in Joachim Ritter et Karlfried Gründer (eds.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. 4, Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1976, p. 329-332.

⁷⁹ « Induction » est utilisé ici comme un terme fixe et indiscutable, Nickles, T., *Scientific Discovery: case Studies*, Dordrecht, Reidel, 1980 ; idem, *Scientific Discovery, Logic, and Rationality*, Dordrecht, Reidel, 1980. Quelques rares auteurs continuent néanmoins de débattre de l'induction : Goodman, N., *Tatsache, Fiktion, Voraussage* ; Black, M. « Induction », in Edwards, P. (ed.), *The Encyclopedia of Philosophy*, Vol. 3/4, New York-Londres, Macmillan & Free Pr., 1972, p. 173 ; Hacking, I., « The Self-Vindication of the Laboratory Sciences », in Pickering, A. (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago, University of Chicago Press, 1992, p. 61-62.

⁸⁰ *Ibid.*, p. 60 : « The doctrine of mature self-vindicating laboratory sciences has no more to do with the problem of induction than does Popper's methodology of conjectures and refutations or Kuhn's analysis of scientific revolutions. That is as it should be. The problem of induction was posed in connection with bread, postmen, and billiards. It has nothing special to do with science, [...] »

⁸¹ Reichenbach, H., « Wahrscheinlichkeitslogik », in idem et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 37-43 ; idem, « Zur Induktionsmaschine », in *ibid.*, p. 172-173 ; idem, « Wahrscheinlichkeitslogik und Alternativlogik », in *ibid.*, p. 177-178 ; idem, « Die Bedeutung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs für die Erkenntnis », *Actes du huitième Congrès International de Philosophie à Prague 2-7 Septembre 1934*, Prague, Comité d'Organisation du Congrès, 1936, p. 163-169.

⁸² *Ibid.*, p. 165.

valente⁸³. Selon Reichenbach, une inférence inductive donnée ne peut être tirée que d'une probabilité spécifique :

Si nous arrivons à une conclusion à partir d'une expérience observée puis répétée n fois, nous ne concluons jamais avec certitude, mais seulement en probabilité ; d'autre part, cette probabilité croît avec le nombre n de cas observés. Il s'agit donc ici d'un raisonnement typiquement probabiliste⁸⁴.

Sandra Pravica

Avec sa logique des probabilités, qu'il expose formellement de manière détaillée, Reichenbach prétend avoir finalement « rendu possible la résolution du problème de l'induction » et avoir ainsi fourni en quelque sorte la « logique de toute connaissance de la nature »⁸⁵. Il introduit un concept d'induction logiquement défini et limite son utilisation à un domaine clairement délimité. Reichenbach le considère comme un concept indispensable dans la philosophie des sciences. Il soutient même que c'est *précisément parce que* le principe d'induction est à la base de toutes les inférences physiques que sa logique probabiliste doit être considérée comme la logique de toutes les connaissances scientifiques⁸⁶.

Suite à ses propos sur l'induction, Reichenbach déclenche un débat qui, dans les années 1930, est essentiellement marqué par les positions adoptées par Otto Neurath et Karl Popper⁸⁷. Dans une réponse directe à l'intervention de Reichenbach, Neurath rejette catégoriquement les propositions de ce dernier. Il qualifie péjorativement de « machine » à produire des inductions la logique formelle des probabilités de Reichenbach⁸⁸. Il objecte que : « Le progrès de la science consiste en quelque sorte à changer constamment de machine et à avancer sur la base de nouvelles résolutions »⁸⁹. Neurath examine le concept d'induction de Reichenbach dans le contexte du programme pour « l'unité de la science » et insiste sur une multiplicité scientifique qui doit être possible malgré cet agenda. Il souligne que l'« unité » doit ici être comprise de prime abord dans un sens historique et social. L'unité à laquelle Neurath s'intéresse n'est donc pas « logiquement déductible »⁹⁰.

⁸³ Reichenbach, H., *Wahrscheinlichkeitslehre. Eine Untersuchung über die logischen und mathematischen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, Leiden, Sijthoff, 1935.

⁸⁴ Reichenbach, H., « Die Bedeutung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs für die Erkenntnis », p. 165 (trad. F. L.).

⁸⁵ Reichenbach, H., « Wahrscheinlichkeitslogik », p. 43.

⁸⁶ *Ibid.*

⁸⁷ Karl Popper occupe certes une place à part en raison de sa critique de certaines positions de l'empirisme logique, mais il est néanmoins justifié de faire référence à lui ici en tant que membre du mouvement. Voir Stadler, F., *Studien zum Wiener Kreis. Ursprung, Entwicklung und Wirkung des Logischen Empirismus im Kontext*, Frankfurt/Main, Suhrkamp, 1997, p. 524 ; ainsi que toute la section « Bemerkungen zur "Popper-Legende" » : p. 512-524. Les travaux de Rudolf Carnap sur le problème de l'induction ne sont pas pris en compte ici, car il ne s'est penché plus avant sur le problème qu'après les années qui font l'objet de cette étude.

⁸⁸ Neurath, O., « Einheit der Wissenschaft als Aufgabe », in Reichenbach, H. et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 18.

⁸⁹ *Ibid.* (trad. F.L.).

⁹⁰ Neurath, O., « Zur Induktionsfrage », in *ibid.*, p. 174 ; *idem*, « Einheit der Wissenschaft als Aufgabe », p. 18.

La réponse de Karl Popper à Reichenbach diffère considérablement de celle de Neurath. Popper, qui préfère généralement le principe de déduction à celui d'induction comme base exclusive de ce qu'il appelle désormais la « logique scientifique », écarte le principe d'induction en lui opposant l'argument « traditionnel » : à savoir qu'il conduit à une régression infinie et, pour ne rien arranger, est un principe aprioriste. Enfin, il rejette la conception de Reichenbach, car elle aboutirait à une compréhension affaiblie et donc inutilisable de la vérité⁹¹.

Un examen approfondi des propos tenus par Reichenbach en 1934 met une fois de plus en évidence le rôle prépondérant que ce dernier attribue à l'« induction » dans la philosophie des sciences. Les procédures « application des lois de la nature » et « raisonnement inductif » sont *identiques* pour Reichenbach⁹². Il considère l'intégration réussie d'une théorie de l'induction comme la condition d'une raison d'être de la philosophie scientifique⁹³. Reichenbach lie étroitement son inclusion épistémologique positive de l'induction à la question de savoir quels domaines de l'entreprise scientifique peuvent être soumis à une « rationalisation », c'est-à-dire s'ils peuvent être représentés comme une « argumentation rationnelle » sur la base de moyens logiques formels⁹⁴. Par la suite, Reichenbach propose de distinguer les procédures qui permettent à un scientifique de « découvrir » une théorie (il les appelle les méthodes de découverte) des opérations par lesquelles une théorie est présentée et défendue publiquement (les méthodes de justification). Alors que les méthodes de la première catégorie, c'est-à-dire les méthodes de découverte, ne sont pas plus « rationalisables » selon Reichenbach « que les devinettes », les méthodes de justification ont le privilège d'être systématiques et de pouvoir être représentées par des moyens « rationnels »⁹⁵. Popper, bien qu'il soit en désaccord avec Reichenbach au sujet de l'induction, est néanmoins tout à fait d'accord avec sa proposition de scinder les procédures scientifiques en deux domaines fondamentalement différents, où seul celui de la « justification » mérite d'être examiné et représenté de manière « rationnelle »⁹⁶. Ainsi, c'est notamment l'affirmation par Reichenbach du rôle épistémologique positif de l'induction qui a nécessité la séparation des contextes de la justification et de la découverte, laquelle a eu un effet durable sur la philosophie des sciences du XX^e siècle, dans sa pratique comme dans ses méthodes⁹⁷. Alors que la « distinction contextuelle » a eu une grande influence sous la forme présentée en

⁹¹ Popper, K., « “Induktionslogik” und “Hypothesenwahrscheinlichkeit” », in *Reichenbach, H. et Carnap, R. (eds.), Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 170-172.

⁹² Reichenbach, H., « Die Bedeutung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs für die Erkenntnis », p. 166.

⁹³ *Idem* « Zur Induktionsmaschine », p. 172.

⁹⁴ *Ibid.*, p. 172-173.

⁹⁵ *Ibid.*

⁹⁶ Popper, K., « “Induktionslogik” und “Hypothesenwahrscheinlichkeit” », p. 170.

⁹⁷ Schiemann, G. « Inductive Justification and Discovery. On Hans Reichenbach's Foundation of the Autonomy of the Philosophy of Science », in *Revisiting Discovery and Justification. Historical and Philosophical Perspectives on the Context Distinction*, Schickore, J. et Steinle, F. (eds.). Dordrecht, Springer, 2006, p. 23.

1938 dans *Experience and Prediction* de Reichenbach, la défense de l'induction présentée ici et de la « rationalité » de la philosophie en tant que discipline se retrouve aussi bien dans les premiers travaux que ceux plus tardifs de Reichenbach, comme le montre une étude de Gregor Schiemann⁹⁸. J'adhère à la thèse de Schiemann selon laquelle la distinction de contexte de Reichenbach acquiert sa pertinence particulière précisément en relation avec la théorie de l'induction.

Jusqu'à présent, le lien mis en évidence par Schiemann n'a pas été pris en compte de manière plus approfondie dans la recherche⁹⁹. Dans la perspective de l'orientation donnée par Bachelard au concept d'induction, il est pourtant hautement instructif. Il faut notamment souligner la relation entre "induction" et "découverte" (définie ensuite comme séparation par Reichenbach) telle que Schiemann la met en évidence. Il montre que, vers 1949, Reichenbach fait fortement contraster la philosophie des sciences avec le contexte de la découverte. Les tâches de l'épistémologie restent par la suite limitées au contexte de la justification¹⁰⁰. En conséquence, le traitement de l'induction subit également une correction. Elle ne joue plus un rôle que dans le contexte de la justification, formulée en termes de calcul de probabilité. En tant que partie du processus scientifique ou de la dynamique de la découverte, elle ne fait plus l'objet d'une réflexion. Schiemann constate que Reichenbach, après avoir admis que « le principe d'induction est la seule règle que le physicien a sous la main »¹⁰¹, passe directement à la différenciation du contexte, de sorte que cette différenciation « ouvre une brèche exactement là où l'épistémologie et les sciences naturelles sont les plus proches »¹⁰². Il est donc cohérent d'affirmer qu'ensuite, c'est précisément là où Reichenbach effectue la coupure méthodologique nécessaire pour lui au moyen de la séparation des contextes que Bachelard place la productivité épistémologique du principe d'induction, à savoir là aussi où « l'épistémologie et les sciences de la nature sont les plus proches ».

Or, la nouvelle conception de l'induction de Bachelard s'appuie précisément sur ce que Reichenbach exclut par la suite, mais résolument, du champ épistémologique : les découvertes scientifiques. En outre, en mettant particulièrement l'accent sur la dynamique *transgressive* de l'induction, Bachelard aborde de manière extrême le thème qui, dans la conception traditionnelle, constitue l'un des problèmes clés qui lui sont liés. Il s'empare de la brèche logique qui, dans la discussion philosophique sur l'induction, se présente comme une difficulté authentique, pour la mettre en évidence de manière épistémologiquement positive dans son approche.

Or, le fait que Bachelard ne justifie pas la dynamique épistémique de la "découverte" par des facteurs externes, c'est-à-dire par des facteurs qui, dans la "logique" de séparation des contextes de Reichenbach, seraient attribués au contexte de la

⁹⁸ *Ibid.*, p. 24.

⁹⁹ *Ibid.*

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 30-31.

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 30 (trad. F. L.).

¹⁰² *Ibid.* (trad. F. L.).

découverte, comme par exemple des facteurs psychologiques, sociologiques ou historiques, mais qu'il l'expose à partir de particularités internes à la physique mathématique contemporaine, rend son concept d'induction particulièrement prometteur sur le plan philosophique. En effet, en se concentrant spécifiquement sur les mathématiques, il contourne la séparation des contextes, sans pour autant devoir se référer strictement au domaine désigné par Reichenbach comme « contexte de la découverte ».

4. S'écarter de la conception usuelle

Le chemin pris par Bachelard dans sa reformulation du concept d'induction a déjà été jalonné plus haut par la productivité et la force de découverte des mathématiques. Même si la conception de Bachelard ne tient apparemment pas compte du “problème” et de la “logique de conclusion (*Schlussprinzip*)” de l'induction, tels qu'ils ont été traités jusqu'alors en philosophie, elle n'est pas pour autant formulée sans référence aux problématisations contemporaines courantes de l'induction. Ce n'est que progressivement que Bachelard introduit la thématique de l'induction dans une problématique épistémologique et avec un vocabulaire qui lui est propre. Ce processus peut être divisé en différentes phases, qui ne sont pas strictement chronologiques.

Un premier glissement décisif peut être noté entre les conceptions respectives de l'induction dans *Essai sur la connaissance approchée* de 1927 d'une part, et dans *La valeur inductive de la relativité* de 1929¹⁰³ d'autre part. Il s'agit dans les deux cas des premiers livres de Bachelard dans lesquels l'induction joue un rôle explicite. *L'Essai* (la thèse de doctorat de Bachelard) s'est fait remarquer dans le contexte philosophique francophone précisément en raison des réflexions sur l'induction qu'il contient¹⁰⁴. Par exemple, André Lalande ajoute à son ouvrage *Théories de l'induction et de l'expérimentation* de 1929, qui fournit un aperçu historique allant de l'Antiquité à Charles Sanders Peirce, un appendice qui présente des publications récentes importantes sur le sujet¹⁰⁵. Il y présente les travaux de Léon Brunschvicg¹⁰⁶, Jean Nicod¹⁰⁷, Maurice Dorelle¹⁰⁸, ainsi que le chapitre consacré par Gaston Bachelard à l'induction dans son *Essai*¹⁰⁹. Dans *L'Essai*, Bachelard replace ses considérations sur l'“induction” dans le cadre d'une réflexion sur le rôle de la connaissance approchée dans les sciences expéri-

¹⁰³ Bachelard, G., *La Valeur inductive de la relativité*, Paris, Vrin, 1929.

¹⁰⁴ Le chapitre concerné s'intitule : « L'induction, la corrélation et la probabilité dans leur rapport avec la connaissance approchée », in Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 127-154.

¹⁰⁵ Lalande, A., *Les Théories de l'Induction et de l'Expérimentation*, Paris, Boivin, 1929.

¹⁰⁶ Brunschvicg, L., *L'Expérience humaine et la causalité physique*, Paris, Alcan, 1922.

¹⁰⁷ Nicod, J., *Le Problème de l'induction*, Paris, Alcan, 1923.

¹⁰⁸ Dorelle, M., *Les Problèmes de l'induction*, Paris, Alcan, 1926.

¹⁰⁹ Lalande, A., *Les Théories de l'Induction et de l'Expérimentation*, p. 265-283.

mentales¹¹⁰. Il s'interroge sur le type de « certitude » (dans la notion de savoir « approché ») qui émerge des processus « inductifs » de la recherche expérimentale, et sur les « limites » de la connaissance approchée dans ce contexte¹¹¹. Il adhère fondamentalement à la position « pragmatique » sur l'induction en tant que principe indispensable aux procédures scientifiques¹¹². Néanmoins, Bachelard rejette la question philosophique de la légitimité de l'induction. Il refuse d'accepter un principe d'induction « idéal », dépassant et isolé de ses applications effectives¹¹³. Au contraire, le principe d'induction selon Bachelard ne peut absolument pas être séparé de ses applications concrètes. Il s'agit de déterminer le type particulier de « certitude » qui est à l'œuvre dans le principe d'induction « en application »¹¹⁴. Il critique les approches qui présupposent déjà la légitimité du principe d'induction, car elles laissent le principe lui-même intact, même si son application doit se révéler désastreuse¹¹⁵.

Il est également intéressant que Bachelard fasse référence au rôle de conservation des processus inductifs. En plus de la caractérisation courante de l'induction comme principe d'élargissement des connaissances, il souligne sa valeur *conservatrice*. Pour lui, le principe d'induction est nécessairement lié au principe d'identité¹¹⁶. En discutant du lien entre « induction appliquée » et « connaissance approchée », Bachelard aborde dans son *Essai*, entre autres, les approches probabilistes et les divergences avec la « loi statistique », le critère de « précision », la nature des prédictions (approchées) et leurs implications temporelles¹¹⁷. Il s'appuie pour cela sur la littérature classique et contemporaine portant sur le thème de l'induction, comme John Stuart Mill, Pierre-Simon Laplace, Nicod, Jules Lachelier. Ce qui m'importe ici, c'est que la perspective de l'« induction en application » proposée dans l'ouvrage de Bachelard sur la connaissance approchée marque bien une nouvelle orientation épistémologique dans le traitement du problème philosophique de l'induction. Mais les explications données, comme l'attitude « pragmatique » à l'égard de l'utilisation de l'induction, l'absence de tentatives de validation et de fondement, la prise en compte du rôle de la probabilité, tout comme les auteurs auxquels il est fait appel, sans oublier la reconnaissance spécifique que Lalande accorde à ces explications, prouvent que l'utilisation de l'« induction », tout comme la discussion épistémologique, sont, sur ce thème, ancrées dans le cadre du débat contemporain en philosophie des sciences. Un an plus tard, avec *La valeur inductive de la relativité*, on peut déjà constater un changement important dans la conception de Bachelard de l'« induction ». La productivité et l'inventivité des mathématiques sont désormais mises au premier plan. Avec ce livre, qui discute du renouveau théorique grâce

¹¹⁰ Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 27-168.

¹¹¹ *Ibid.* ; ainsi que Lalande 1929, p. 280.

¹¹² Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, p. 127-129.

¹¹³ *Ibid.*, p. 127 ; p. 130-131.

¹¹⁴ *Ibid.*, p.127 ; p. 129.

¹¹⁵ *Ibid.*, p. 130.

¹¹⁶ *Ibid.*, p. 127-28.

¹¹⁷ *Ibid.*, p. 127-154.

à la théorie de la relativité, l'induction devient un concept clé dans la détermination de la "nouveau" spécifique de la relativité¹¹⁸. La théorie de la relativité est présentée comme une « méthode de découverte progressive »¹¹⁹. Bachelard souligne que le calcul tensoriel déploie une productivité et une inventivité particulières dans son association avec la relativité. Les développements ultérieurs de la physique relativiste ont confirmé « l'importance du formalisme tensoriel » sur lequel insiste Bachelard¹²⁰.

Dans *La Valeur*, l'« induction » fait certes référence de manière générale à un élargissement du savoir scientifique, mais un aspect temporel est en même temps introduit dans la notion. Car Bachelard insiste sur une « rupture » qui se manifeste avec la relativité : les principes de la relativité ne peuvent pas être déduits des éléments théoriques disponibles *avant* leur « découverte ». Selon Charles Alunni, *La Valeur* fixe le sens spécifiquement bachelardien de l'induction¹²¹. Les thèses de Bachelard sont une réponse critique à la lecture d'Einstein par Émile Meyerson¹²², comme l'explique Parrochia¹²³. Alors que Meyerson place la nouveauté de la pensée relativiste dans la continuité des théories physiques existantes, ainsi qu'avec l'expérience générale, Bachelard insiste sur la rupture radicale avec le passé¹²⁴. Chez Meyerson la théorie de la relativité se présente comme « un ensemble de déductions »¹²⁵. Bachelard, quant à lui, examine dans quelle mesure elle élargit les possibilités et en offre de nouvelles¹²⁶.

Comparé à l'utilisation de l'« induction » dans l'*Essai*, le livre sur la relativité présente un infléchissement très net. Bachelard y fait coïncider la notion et son intention épistémologique majeure, puis l'utilise pour étayer la thèse principale de l'ouvrage. Le concept d'induction n'est cependant pas encore utilisé, comme il le sera dans une phase ultérieure, pour soutenir la version de Bachelard d'un « rationalisme » philosophique. Contrairement à l'utilisation antérieure de « l'induction », on constate en outre une stricte limitation à la problématique de la découverte. L'induction se démarque entre-temps largement des problématiques qui lui ont

¹¹⁸ Bachelard, G., *La Valeur inductive de la relativité*, p. 5-6 ; p. 10-11.

¹¹⁹ *Ibid.*, p. 6.

¹²⁰ Parrochia, D., « La lecture bachelardienne de la théorie de la relativité (Bachelard et Meyerson) », in Jean-Jacques Wunenburger (ed.), *Bachelard et l'épistémologie française*, Paris, PUF, 2003, p. 182.

¹²¹ Alunni, C., « Relativités et puissances spectrales chez Gaston Bachelard », in *Rev synth* 120, 1999, p. 92. Il examine également dans ce contexte l'importance de l'induction électromagnétique. Voir *ibid.* p. 97-100 et aussi Bontems, V., « L'actualité de l'épistémologie historique », *Revue d'histoire des sciences*, 59 (1), 2006, p. 137-147.

¹²² Meyerson, É., *La Déduction relativiste*, Paris, Payot, 1925.

¹²³ Parrochia, D. « La lecture bachelardienne de la théorie de la relativité (Bachelard et Meyerson) ».

¹²⁴ *Ibid.*, p. 160-162. Voir aussi la critique d'Alunni sur le commentaire à la nouvelle édition de *La Valeur* en 2014: Alunni, C., « II. La valeur inductive de la relativité contre la Phénoméno-technique », in C. Alunni (ed.), *Spectres de Bachelard. Gaston Bachelard et l'école surrationaliste*, Paris, Hermann, 2019, p. 71-89.

¹²⁵ Bachelard, G., *La Valeur inductive de la relativité*, p. 1.

¹²⁶ Parrochia, D. « La lecture bachelardienne de la théorie de la relativité (Bachelard et Meyerson) », p. 163.

été associées « de Mill à Carnap »¹²⁷. L'innovation de Bachelard sur le concept d'induction représente un risque, et elle a un prix. Les explications ne sont plus perçues comme une contribution au discours philosophique sur l'« induction »¹²⁸.

5. Allure inductive

Sandra Pravica

L'exposé de Bachelard sur l'« allure inductive »¹²⁹ dans *Le Rationalisme appliqué* est particulièrement détaillé et instructif pour la question qui nous occupe¹³⁰. Pour une fois, il argumente ici effectivement « systématiquement ».¹³¹ Dans cet écrit tardif, on peut constater une nouvelle étape dans l'utilisation du terme « induction », dans la mesure où Bachelard y insiste pour donner à la thématique de l'induction une place prépondérante dans une position philosophique qu'il défend activement. Dans ce contexte, on parle aussi d'« inductif » au sens général de « inventif », « productif » et « amplifiant » : « Il ne faut pas confondre la déduction qui assure et l'induction qui invente. Le rationalisme dans son travail positif est éminemment inducteur [...] »¹³². Le fait qu'à côté de la forme substantive française « induction », des formes adjectivales comme « inductive » ou « inducteur » s'accumulent dans l'exposé de Bachelard confirme en quelque sorte la tournure prise par la problématique de l'induction introduite avec *La Valeur inductive de la Relativité*. Il ne s'agit plus ici d'un « principe » d'induction, mais d'une propriété inductive.

Étant donné que Bachelard précise dans *Le rationalisme appliqué*, qu'il s'intéresse « surtout à l'aspect philosophique des nouvelles techniques expérimentales »¹³³, et par ailleurs aux mathématiques surtout « dans leur travail » en physique ou en chimie, il est d'autant plus surprenant que Bachelard discute en détail de l'*allure inductive* dans le chapitre « L'identité continuée » en prenant un exemple tiré des mathématiques – si l'on peut dire – « pures ». Un domaine dont il ne s'occupe pas habituellement. L'objet choisit par Bachelard pour sa démonstration et introduire ce qu'il appelle la « démarche inductive » est le concept d'orthogonalité. Ce qu'il veut montrer, c'est une « ligne de pensée inductive » qui « naît » en quelque sorte avec les extensions mathématiques successives de l'orthogonalité, lorsqu'elle est d'abord formulée géométriquement dans le théorème de Pythagore, puis introduite au cours de sa généralisation dans les « espaces algébriques », ensuite appliquée dans la théorie des ensembles, et enfin comme concept de

¹²⁷ *Ibid.*, p. 168.

¹²⁸ Spaier, A., « Gaston Bachelard. La valeur inductive de la Relativité (1929) », *Recherches philosophiques* I, 1931/32, p. 369. Alunni fait remarquer que *La Valeur* est l'ouvrage le moins cité de Bachelard. Alunni, C., « Relativités et puissances spectrales chez Gaston Bachelard », p. 78.

¹²⁹ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, p. 82.

¹³⁰ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*.

¹³¹ Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, XVIII : « He [Bachelard] does not, in any single work, set out to argue systematically for a position ».

¹³² Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, p. 82.

¹³³ *Ibid.*, p. 102-103.

base des fonctions de la mécanique ondulatoire ; elle est sans cesse reformulée au fil de ces déclinaisons¹³⁴. La « ligne sous-jacente » à cette succession de notions est, selon Bachelard, un « noumène mathématique »¹³⁵. Sa démonstration, signale Bachelard, compromet le rôle du principe d'identité, $A = A$ ¹³⁶. Il montrerait dans quelle mesure même le principe d'identité se révèle « productif » dans le cadre des diverses applications citées¹³⁷. Dans son argumentation, Bachelard se réfère au fait que l'identité a été reformulée de manière « relationnelle » dans les développements contemporains de la géométrie et qu'elle n'est désormais plus disponible dans ces domaines que sous certains aspects, par exemple en tant qu'identité « crémonienne » ou « euclidienne »¹³⁸. Le fait qu'il prenne justement l'exemple du théorème de Pythagore et qu'il y attache une discussion sur le principe d'identité vient notamment du fait qu'il argumente contre la position de Meyerson en matière de philosophie des sciences. Celui-ci démontre, dans des analyses approfondies d'exemples de l'histoire des sciences (principalement contre les conceptions positivistes et conventionnalistes), ce qui reste constant dans « l'esprit humain » malgré la variabilité des faits naturels¹³⁹. Il fait également appel au théorème de Pythagore quand il interroge le principe d'identité dans son livre sur les explications des sciences naturelles, au chapitre sur l'« identité » et l'« identification »¹⁴⁰. Contrairement à Meyerson, ce qui importe à Bachelard, c'est que le principe d'identité ne justifie pas la référence à une réalité absolue¹⁴¹.

Le passage par les différentes reformulations mathématiques de l'orthogonalité choisi par Bachelard pour sa démonstration concerne donc la géométrie et peuvent être présentées ici graphiquement sous forme de figures géométriques dans certaines de ses étapes essentielles. Bachelard insiste sur le fait de ne faire appel qu'à des « identités d'objets de type euclidien »¹⁴². Cela permet de le suivre dans cette argumentation « illustrative » atypique pour lui¹⁴³. Dans un premier temps, Bachelard fait appel au théorème de Pythagore¹⁴⁴, qui fait partie des connaissances générales, dans le cas où le triangle rectangle donné est isocèle. Les triangles rectangles construits semblent être parfaitement identiques

¹³⁴ *Ibid.*, p. 82.

¹³⁵ *Ibid.*, p. 91.

¹³⁶ *Ibid.*, p. 82. Généralement, le principe d'identité est le plus souvent illustré par « $A = B$ ». Bachelard reprend apparemment cette façon de l'écrire de : Meyerson, É., *Explanation in the Sciences*, Dordrecht, Kluwer, 1991, p. 103-105.

¹³⁷ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué* p. 83.

¹³⁸ *Ibid.*, p. 84. Le terme « identité crémonienne » fait ici référence à la contribution du mathématicien Luigi Cremona : *Britannica*, <https://www.britannica.com/biography/Luigi-Cremona> (dernière consultation : 28.01.22)

¹³⁹ Meyerson, É., *Identität und Wirklichkeit*, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H., 1930, p. 406-410.

¹⁴⁰ Meyerson, É., *Explanation in the Sciences*, p. 102-142 ; surtout p. 108.

¹⁴¹ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, p. 83.

¹⁴² *Ibid.*, p. 88.

¹⁴³ Les illustrations suivantes sont tirées de : Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, p. 87-95.

¹⁴⁴ « Dans tous les triangles rectangles plans, la somme des aires des carrés des cathètes est égale à l'aire du carré de l'hypoténuse ».

au triangle situé au centre de la figure¹⁴⁵. La validité du théorème de Pythagore peut être confirmée dans ce cas par le simple fait de découper et de superposer les triangles. Cependant, les triangles ne sont pas seulement identiques en termes de surface, ils sont également identiques en tout point, à l'exception de leur position. (Fig. 1)¹⁴⁶. Ensuite, on envisage un triangle rectangle quelconque. Dans ce cas, les formes à comparer varient considérablement, de sorte que leur identité ne pourrait pas être démontrée en découpant et en superposant les surfaces. Néanmoins, leur égalité peut être prouvée indirectement, par le calcul. La distance AHK s'avère être importante (Fig. 4)¹⁴⁷.

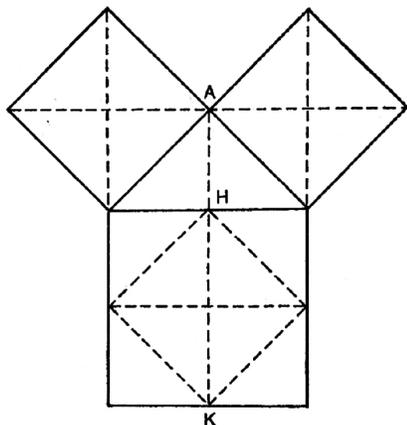


FIG. 1

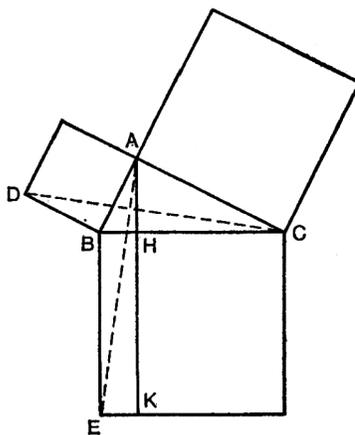


FIG. 4

Pour démontrer les phases suivantes par lesquelles passe le théorème pythagoricien, Bachelard se réfère à un commentaire du mathématicien Georges Bouligand¹⁴⁸. Si les carrés construits à l'origine sur les côtés du triangle illustrent ce qui est "pythagoricien" dans le triangle rectangle, donc c'est en raison du fait que le carré lui-même est un *polygone régulier*, et que par conséquent tous les carrés se ressemblent de la même manière que les polygones réguliers se ressemblent par le nombre de leurs côtés¹⁴⁹. La caractéristique sur laquelle se focalise Bachelard, la « pythagoricité », qui fonctionne avec le triangle rectangle, est donc valable pour tous les polygones réguliers. Si l'on part donc de la forme "classique" du théorème de Pythagore, il est facile de prouver sa validité aussi pour les triangles équilatéraux (Fig. 5) – Bachelard ajoute les étapes de calcul correspondantes¹⁵⁰.

¹⁴⁵ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, p. 86-87.

¹⁴⁶ *Ibid.*

¹⁴⁷ *Ibid.*, p. 89-90.

¹⁴⁸ On ne trouve cependant chez Bachelard aucune référence à une publication de Bouligand.

¹⁴⁹ *Ibid.*, p. 91.

¹⁵⁰ *Ibid.*

En conséquence, selon Bachelard, on peut conclure à une propriété générale : un polygone régulier à n côtés construit sur l'hypothénuse d'un triangle rectangle est égal à la somme des polygones réguliers à n côtés construits sur les deux autres côtés. Il en résulte un théorème plus général qui s'applique à tous les polygones réguliers (Fig. 6)¹⁵¹.

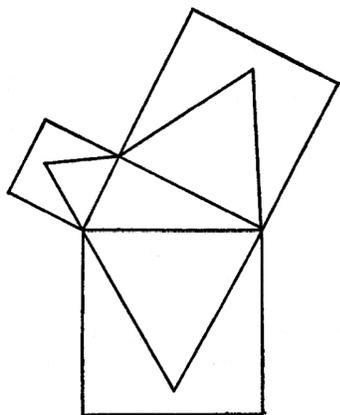


FIG. 5

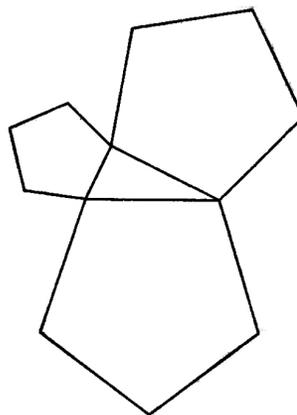


FIG. 6

Pour mieux comprendre la « cause réelle » du théorème de Pythagore généralisé, il faut, selon Bachelard, réfléchir à la « régularité » spécifique des polygones¹⁵². Il admet que la notion de « régularité » n'est pas en cause. Au contraire, on peut arriver au concept « causatif » en considérant que tous les polygones réguliers à n côtés sont *similaires*. En effet, le théorème de Pythagore peut, entre autres, être formulé à l'aide de demi-cercles (Fig. 7)¹⁵³. Le chemin qui, à la recherche de la raison « fondamentale » ou « rationnelle » de la « pythagoricité », est passé successivement par le carré, les polygones réguliers, puis les figures *similaires*, a donc finalement conduit à la *similitude* (Fig. 8)¹⁵⁴. Selon Bachelard, une leçon importante de l'exemple donné est que la compréhension maximale d'une idée ou d'un principe va de pair avec son extension maximale¹⁵⁵.

¹⁵¹ *Ibid.*, p. 91-92.

¹⁵² *Ibid.*, p. 93.

¹⁵³ *Ibid.*

¹⁵⁴ *Ibid.*, p. 94.

¹⁵⁵ *Ibid.*

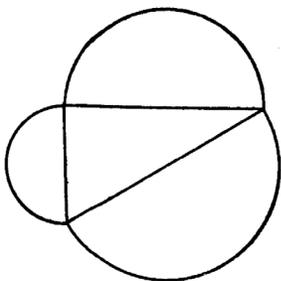


FIG. 7

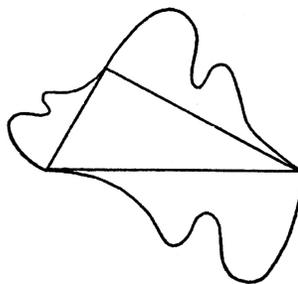


FIG. 8

Pour conclure, Bachelard en vient à la véritable contribution de Bouligand. Ce dernier, en travaillant dans sa démonstration avec des triangles semblables au triangle central, aurait finalement prouvé la « pythagoricité *intrinsèque* » du triangle rectangle (Fig. 9)¹⁵⁶. Manifestement, les triangles construits sur les petits côtés correspondent ici aux triangles AHB et AHC, qui sont donnés avec la hauteur AH du triangle. On peut donc se demander s'il est vraiment nécessaire de faire appel à des figures « externes » pour apporter la preuve (Fig. 10)¹⁵⁷. Sans le détour par les diverses constructions externes, il aurait cependant été difficile de remarquer que le triangle rectangle dont la hauteur est marquée représente le « germe replié de la pythagoricité ». Bachelard parle aussi dans ce contexte du « germe de l'auto-pythagoricité la plus pure et la plus complète »¹⁵⁸. Bouligand a donc, selon Bachelard, plutôt procédé à la démonstration d'une « complication » qu'à une « explication »¹⁵⁹.

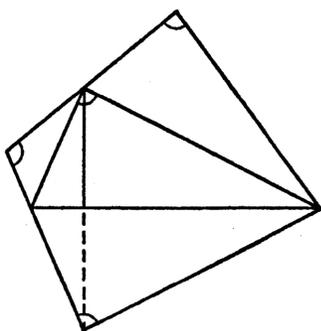


FIG. 9

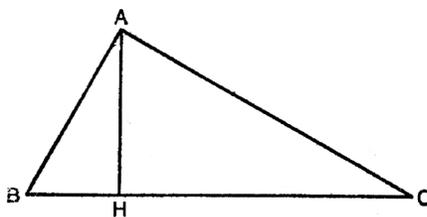


FIG. 10

¹⁵⁶ *Ibid.*, p. 94-95.

¹⁵⁷ *Ibid.*, p. 95.

¹⁵⁸ *Ibid.*, p. 97.

¹⁵⁹ *Ibid.*

Bachelard insiste sur la généralisation qui se produit par le biais des reformulations du théorème de Pythagore¹⁶⁰. Se concentrer sur le théorème uniquement dans sa formulation en termes de carrés, comme au début de la démonstration, ne permet pas d'atteindre le plus haut degré de généralité et de compréhension. Bachelard souligne que la construction quadratique est simplement contingente par rapport à la *similitude* qui mène au « noyau rationnel » et à la plus large généralisation du théorème de Pythagore¹⁶¹. Le carré n'est qu'une possibilité parmi une multitude de figures, au moyen desquelles la « pythagoricité » du triangle rectangle peut être démontrée. Dès lors, selon Bachelard, ce n'est effectivement pas le théorème lui-même qui est généralisé, mais la caractéristique qu'il appelle « pythagoricité »¹⁶².

La « généralisation » démontrée ne repose pas sur le particulier. En effet, il s'agit d'une généralisation *descendante* (*top-down*) par laquelle la compréhension initiale révèle *a posteriori* ses limites spécifiques. Ce n'est qu'*a posteriori* que l'on découvre dans quelle mesure la conception « initiale » a pu représenter un « obstacle » à une généralisation¹⁶³. C'est là que s'articule une caractéristique décisive du concept d'induction chez Bachelard. Une « extension » n'est pas conçue ici comme un simple élargissement dans une certaine direction ou par rapport à un certain domaine. Elle est « encadrement » ou « inclusion », et en même temps production « récurrente » de ce qui précède, est initial ou originel. Cette conception de l'induction est portée par un axe temporel interne spécifique, différent du temps chronologique. Celle-ci est fonction du temps épistémologique propre à la question épistémique étudiée¹⁶⁴.

Les développements proposés jusqu'à présent sur l'« induction » chez Bachelard, en particulier par le biais de ses explications de l'« allure inductive » à partir de la « pythagoricité », permettent de mieux clarifier la manière dont il faut comprendre les épithètes « transcendant » ou « dépassant » qu'on retrouve dans ce contexte. Lorsqu'il est dit, par exemple, que « [o]n suit [...] une induction transcendante et non pas une induction amplifiante en allant de la pensée classique à la pensée relativiste »¹⁶⁵, on peut en conclure qu'il ne s'agit pas d'un dépassement vers un « extérieur » ou d'une transgression de nature violente. « Transcender » signifie plutôt ici repousser une limite depuis l'intérieur. La limite est celle qui résulte de la constitution épistémique d'un domaine de recherche, tout comme son dépassement résulte d'une nouvelle constitution épistémique interne du domaine de connaissance concerné.

Le recentrage opéré par Bachelard sur le couple conceptuel « noumène » et « phénomène » s'inscrit lui aussi dans la réorientation épistémologique opérée

¹⁶⁰ *Ibid.*, p. 94. Aujourd'hui, l'« argument de similarité » ou la « preuve par similitude » est l'une des nombreuses démonstrations du théorème de Pythagore. Schroeder, M., *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an infinite paradise*, New York, Freeman, 1991.

¹⁶¹ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, p. 94.

¹⁶² *Ibid.*, p. 96-103.

¹⁶³ *Ibid.*, p. 112.

¹⁶⁴ Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, p. 96.

¹⁶⁵ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 46.

par le concept d'induction. Il y a un « dédoublement » du réel constitué par les sciences naturelles en phénomène et noumène, comme en témoigne Granger¹⁶⁶. Dans la conception de Kant, le nouménal n'est ni disponible pour l'intuition sensible, ni donné à l'expérience des sciences naturelles. Il ne peut pas non plus être démontré par ces dernières¹⁶⁷. Dans la reformulation de Bachelard, un noumène s'oppose certes à l'expérience commune, mais il n'est plus (comme chez Kant) totalement inaccessible à la connaissance positive. La physique, qui s'intéresse à la structure atomique de la matière, donne l'occasion d'expérimenter quelques « notions nouménales »¹⁶⁸. Bachelard réoriente les deux côtés de la relation conceptuelle : Le phénomène est « restreint à l'intérieur du noumène qui l'enveloppe, le cas particulier dans le cas général, sans que jamais le particulier puisse évoquer le général »¹⁶⁹.

Cette dernière remarque de Bachelard indique que le problème traditionnellement associé à l'« induction » a été résolu par la nature spécifique des nouvelles sciences expérimentales. Le particulier, un fait observé, un cas isolé, n'est plus le point de départ de l'induction. Et il n'est même plus question ici d'un principe de déduction logique. Enfin, il est frappant de voir avec quelle cohérence Bachelard, malgré ou justement grâce à l'abandon de l'usage habituel du terme, garde à l'esprit le problème de la « découverte », traditionnellement traité par l'« induction », lors de sa reformulation et lui apporte une solution propre. En passant par les mathématiques, Bachelard oriente le concept d'induction vers la problématique de la découverte, alors que celle-ci est restée exclue de la philosophie générale des sciences de son époque (notamment à la suite de la séparation par Reichenbach entre le contexte d'une découverte et ce qui peut être examiné « rationnellement ») et ce, jusque dans les années 1980.¹⁷⁰

6. Conclusion

Dans ses travaux, Bachelard apporte successivement au concept et à la problématique de l'induction dans les sciences naturelles une interprétation originale et personnelle. Avec la modification progressive de l'induction en *enveloppement*, il tient compte épistémologiquement de la nouvelle activité de production et de découverte des mathématiques dans les sciences naturelles qui survient pendant la première moitié du XX^e siècle. Par cette inflexion, il traite de manière innovante la problématique de la nouveauté et de la découverte scientifique, alors que ses

¹⁶⁶ Granger, G. G., « Le rationnel selon Gaston Bachelard », p. 14.

¹⁶⁷ Kambartel, F., « Noumenon », in Mittelstrass, J. (ed.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Vol. 2, Mannheim, Bibliographisches Institut Wissenschaftsverlag, 1984, p. 1042.

¹⁶⁸ Bachelard, G., « Noumène et microphysique », p. 23-24.

¹⁶⁹ Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, p. 62.

¹⁷⁰ Pour cet article, l'étude de la notion d'induction chez Bachelard s'est cantonnée à ses écrits épistémologiques. Alunni souligne notamment l'importance de la conception d'induction chez Bachelard dans ses écrits poéto-logiques. Voir Alunni, C., « Relativités et puissances spectrales chez Gaston Bachelard », p. 102.

contemporains de l'empirisme logique les excluent de la philosophie des sciences. Le thème de la découverte scientifique n'a refait débat que plus tard, avec les approches praxéologiques des années 1980 et 1990. En revanche, dans la seconde moitié du XXe siècle, la problématique de l'induction n'était plus débattue en général dans la philosophie des sciences. L'originalité de l'approche de la problématique de l'induction par Bachelard réside notamment dans le fait qu'il parvient à la fois à proposer une solution au problème central "traditionnel" de l'induction et à l'articuler au moyen des innovations épistémologiques des sciences naturelles de son époque. Son travail sur l'induction fait preuve de la flexibilité langagière et conceptuelle qu'il réclame lui-même de la philosophie des sciences. L'introduction par Bachelard de l'*allure inductive* et de l'*enveloppement*, largement idiomatique, prend le risque de ne plus être perçue par le discours philosophique de son époque comme une contribution au débat sur l'induction. Elle a cependant le mérite d'avoir actualisé la problématique de l'induction quand apparaissent des innovations dans les sciences (géométrie, physique, chimie) et d'avoir conservé sa compatibilité avec les développements scientifiques ultérieurs dans les domaines mathématisés de la science, et peut-être aussi dans les sciences de la vie.

Sandra Pravica

Université Technique de Berlin, Allemagne
sandra.pravica@tu-berlin.de
mail@sandrapravica.de

Bibliographie

- Alunni, C., « Relativités et puissances spectrales chez Gaston Bachelard », in *Rev synth* 120, 1999, p. 73–110. <https://doi.org/10.1007/BF03182080>
- Alunni, C., « II. La valeur inductive de la relativité contre la Phénoménotéchnique », in C. Alunni (ed.), *Spectres de Bachelard. Gaston Bachelard et l'école surrationaliste*, Paris, Hermann, 2019, p. 71-89.
- Bachelard, G., *Essai sur la connaissance approchée*, Paris, Vrin, 1927.
- Bachelard, G., *Étude sur l'évolution d'un problème de physique. La propagation thermique dans les solides*, Paris, Vrin, 1927.
- Bachelard, G., *La Valeur inductive de la relativité*, Paris, Vrin, 1929.
- Bachelard, G., *Le Pluralisme cohérent de la chimie moderne*, Paris, Vrin, 1932.
- Bachelard, G., *Le Nouvel esprit scientifique*, Paris, Alcan, 1934.
- Bachelard, G., *La Philosophie du non*, Paris, PUF, 1940.
- Bachelard, Gaston, *La Formation de l'esprit scientifique. Contribution à une Psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, Vrin, 1947.
- Bachelard, G. *Le Rationalisme appliqué*, Paris, PUF, 1949.
- Bachelard, G. *Le Matérialisme rationnel*, Paris, PUF, 1953.
- Bachelard, G., *L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, PUF, 1965.
- Bachelard, G., « Noumène et microphysique », in Bachelard, G., *Études*, Paris, PUF, 1970.
- Bachelard, G., « La richesse d'inférence de la physique mathématique », in *L'Engagement rationaliste*, Paris, 1972
- Black, M. « Induction », in Edwards, P. (ed.), *The Encyclopedia of Philosophy*, Vol. 3/4, New York-Londres, Macmillan & Free Pr., 1972, p. 169-181.

- Bontems, V., « L'actualité de l'épistémologie historique », *Revue d'histoire des sciences*, 59 (1), 2006, p. 137-147.
- Brunschvicg, L., *L'Expérience humaine et la causalité physique*, Paris, Alcan, 1922.
- Canguilhem, G., « Die Geschichte der Wissenschaften im epistemologischen Werk Gaston Bachelards », in *Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie*, Wolf Lepenies (ed.), Frankfurt/Main, Suhrkamp, 1979, p. 14-17.
- Cavaillès, J., « La pensée mathématique » (avec Albert Lautman), *Bulletin de la société française de philosophie*, Séance du 4 février 1939, 40(1), 1946, p. 1-39.
- Dorelle, M., *Les Problèmes de l'induction*, Paris, Alcan, 1926.
- Goodman, N., *Tatsache, Fiktion, Voraussage*, Frankfurt/Main, Suhrkamp, 1975.
- Granger, G. G., « Le rationnel selon Gaston Bachelard », in Lafrance, G., (ed.), *Gaston Bachelard. Profils épistémologiques*, Ottawa, Presses de l'Université d'Ottawa, 1987, p. 9-23.
- Hacking, I., « The Self-Vindication of the Laboratory Sciences », in Pickering, A. (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago, University of Chicago Press, 1992, p. 29-64.
- Henderson, L., « The problem of induction », in *Stanford Encyclopedia of Philosophy* 2018, <https://plato.stanford.edu/entries/induction-problem/> (dernière version 14 juin 2022).
- Kambartel, F., « Nounemon », in Mittelstrass, J. (ed.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Vol. 2, Mannheim, Bibliographisches Institut Wissenschaftsverlag, 1984, p. 1042.
- Körner, S., *Philosophie der Mathematik. Eine Einführung*, Munich, Nymphenburger Verlagsbuchhandlung, 1968.
- Körner, S., « Induktion, II. Neuzeit », in Joachim Ritter et Karlfried Gründer (eds.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Vol. 4, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1976.
- Lalande, A., *Les Théories de l'Induction et de l'Expérimentation*, Paris, Boivin, 1929.
- Loi, M., « Bachelard et les mathématiques », in Lafrance, G. (ed.), *Gaston Bachelard. Profils épistémologiques*, Ottawa, Presses de l'Université d'Ottawa, 1987.
- Martin, R., « Bachelard et les Mathématiques », in Centre Culturel International (ed.), *Bachelard. Colloque de Cerisy*, Paris, Union Générale d'Éditions, 1974, p. 46-67.
- Meyerson, É., *La déduction relativiste*, Paris, Payot, 1925.
- Meyerson, É., *Identität und Wirklichkeit*, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H., 1930.
- Meyerson, É., *Explanation in the Sciences*, Dordrecht, Kluwer, 1991.
- Neurath, O., « Einheit der Wissenschaft als Aufgabe », in Reichenbach, H. et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 16-18.
- Neurath, O., « Zur Induktionsfrage », in Reichenbach, H. et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 173-174.
- Nickles, T., *Scientific Discovery: Case Studies*, Dordrecht, Reidel, 1980.
- Nickles, T., *Scientific Discovery, Logic, and Rationality*, Dordrecht, Reidel, 1980.
- Nicod, J., *Le Problème de l'induction*, Paris, Alcan, 1923.
- Pariente, J.-C., « Rationalisme et ontologie chez Gaston Bachelard », in Lafrance, G. (ed.), *Gaston Bachelard. Profils épistémologiques*, Ottawa, Presses de l'Université d'Ottawa, 1987, p. 25-46.
- Pariente, J.-C., *Le Vocabulaire de Bachelard*, Paris, Ellipses, 2001
- Parrochia, D., « La lecture bachelardienne de la théorie de la relativité (Bachelard et Meyerson) », in Jean-Jacques Wunenburger (ed.), *Bachelard et l'épistémologie française*, Paris, PUF, 2003, p. 153-182.
- Popper, K., « "Induktionslogik" und "Hypothesenwahrscheinlichkeit" », in Reichenbach, H. et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 170-172.
- Reichenbach, H., « Wahrscheinlichkeitslogik », in idem et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 37-43.
- Reichenbach, H., « Zur Induktionsmaschine », in idem et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 172-173.
- Reichenbach, H., « Wahrscheinlichkeitslogik und Alternativlogik », in idem et Carnap, R. (eds.), *Einheit der Wissenschaft. Prager Vorkonferenz 1934*, Leipzig, Meiner, 1934, p. 177-178.

- Reichenbach, H., « Die Bedeutung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs für die Erkenntnis », *Actes du huitième Congrès International de Philosophie à Prague 2-7 Septembre 1934*, Prague, Comité d'Organisation du Congrès, 1936, p. 163-169.
- Reichenbach, H., *Wahrscheinlichkeitslehre. Eine Untersuchung über die logischen und mathematischen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, Leiden, Sijthoff, 1935.
- Schiemann, G. « Inductive Justification and Discovery. On Hans Reichenbach's Foundation of the Autonomy of the Philosophy of Science », in *Revisiting Discovery and Justification. Historical and Philosophical Perspectives on the Context Distinction*, Schickore, J. et Steinle, F. (eds.). Dordrecht, Springer, 2006, p. 23-39.
- Schroeder, M., *Fractals, Chaos, Power Laws. Minutes from an infinite paradise*, New York, Freeman, 1991.
- Serres M. et Farouki, N. (eds), *Thesaurus der exakten Wissenschaften*, Francfort/Main, Zweitausendeins, 2001.
- Spaier, A., « Gaston Bachelard. La valeur inductive de la Relativité (1929) », *Recherches philosophiques I*, 1931/32, p. 368-373.
- Stadler, F., *Studien zum Wiener Kreis. Ursprung, Entwicklung und Wirkung des Logischen Empirismus im Kontext*, Frankfort/Main, Suhrkamp, 1997
- Tetens, H., *Experimentelle Erfahrung: eine wissenschaftstheoretische Studie über die Rolle des Experiments in der Begriffs- und Theoriebildung der Physik*, Hambourg, Meiner, 1987.
- Tiles, M., *Bachelard. Science and Objectivity*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984.
- Wussing, H. (ed.) et Brentjes, S., *Geschichte der Naturwissenschaft*, Cologne-Leipzig, Aulis-Verlag Deubner, 1983.

Figures

Fig.1 : Bachelard, G., *Le Rationalisme appliqué*, Paris, PUF, 1986, p. 87.

Fig.4 : *ibid.*, p. 89.

Fig.5 : *ibid.*, p. 91.

Fig.6 : *ibid.*, p. 92.

Fig.7 : *ibid.*, p. 93.

Fig.8 : *ibid.*, p. 93.

Fig.9 : *ibid.*, p. 95.

Fig.10 : *ibid.*, p. 95.