

**L'activité rationaliste
de la physique
contemporaine**

Gaston

Bachelard

L'activité rationaliste de la physique contemporaine

Édition établie par
Charles Alunni

QUADRIGE



puf

ISBN 978-2-13-081434-4
ISSN 0291-0489

Dépôt légal – 1^{re} édition « Bibliothèque de philosophie contemporaine » : 1951
1^{re} édition critique « Quadriges » : 2026, avril

© Presses Universitaires de France, 2026
170 bis, boulevard du Montparnasse
75014 Paris

SOMMAIRE

<i>Liste des abréviations</i>	9
<i>Note sur la présente édition</i>	13
<i>Présentation par Charles Alunni</i>	15

L'ACTIVITÉ RATIONALISTE DE LA PHYSIQUE CONTEMPORAINE

INTRODUCTION. Les tâches de la philosophie des sciences.....	51
CHAPITRE PREMIER. Les récurrences historiques. Épistémologie et histoire des sciences. La dialectique onde-corpuscule dans son développement historique.....	77
CHAPITRE II. Le mouvement et les philosophes. Images simples et mathématiques complexes ...	117
CHAPITRE III. La notion de corpuscule dans la science contemporaine.....	151

CHAPITRE IV. La diversité des corpuscules élémentaires	171
CHAPITRE V. Le rationalisme de l'énergie	225
CHAPITRE VI. Effet photoélectrique. Photon.....	255
CHAPITRE VII. Le spin et le magnéton	271
CHAPITRE VIII. Les opérateurs.....	283
CHAPITRE IX. Les intuitions de la mécanique ondulatoire	297
CHAPITRE X. La dualité corpuscule et onde	307
CONCLUSION. Déterminisme rationnel et déterminisme technique	335

DOSSIER CRITIQUE par Charles Alunni

<i>Notes</i>	355
<i>Index des noms propres</i>	443
<i>Index des noms communs</i>	449
<i>Bibliographie</i>	461
<i>Notice éditoriale</i>	479

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Afin d'alléger l'appareil des notes de bas de page et faciliter la lecture, les renvois aux œuvres de Bachelard sont réduits à l'abréviation du titre, avec mention de la pagination. Le lecteur trouvera ci-dessous les abréviations des ouvrages et les éditions de référence classées par ordre alphabétique.

- ARPC** *L'activité rationaliste de la physique contemporaine* [1951], Paris, Puf « Quadrige », édition établie par Charles Alunni, 2026.
- AS** *L'air et les songes. Essai sur l'imagination du mouvement* [1943], Paris, Le Livre de Poche « Biblio essais », Librairie José Corti, 2015.
- DD** *La dialectique de la durée* [1936], Paris, Puf « Quadrige », édition établie par Élie During, 2022.
- DR** *Le droit de rêver* [1970], Paris, Puf « Quadrige », édition établie par Jean-Philippe Pierron, 2024.
- ECA** *Essai sur la connaissance approchée* [1927], Paris, Vrin « Bibliothèque des textes philosophiques », 1986.

- EEPC** *L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine* [1937], Paris, Librairie Félix Alcan, 1937.
- EEPP** *Étude sur l'évolution d'un problème de physique. La propagation thermique dans les solides* [1927], Paris, Vrin «Bibliothèque des textes philosophiques», 1973.
- ENG** *L'engagement rationaliste* [1972], Paris, Puf «Quadrige», édition établie par Vincent Bontems, 2024.
- ER** *L'eau et les rêves. Essai sur l'imagination de la matière* [1942], Paris, Le Livre de Poche «Biblio essais», Librairie José Corti, 2014.
- ETU** *Études* [1970], Paris, Vrin «Bibliothèque des textes philosophiques», 1970.
- FC** *La flamme d'une chandelle* [1961], Paris, Puf «Quadrige», 2015.
- FES** *La formation de l'esprit scientifique* [1938], Paris, Vrin «Bibliothèque des textes philosophiques», 1993.
- FPF** *Fragments d'une poétique du feu* [1988], Paris, Puf, 1988.
- IA** *Les intuitions atomistiques* [1932], Paris, Vrin «Bibliothèque des textes philosophiques», 2016.
- II** *L'intuition de l'instant* [1932], Paris, Le Livre de poche, 1994.
- LAUT** *Lautréamont* [1939], Paris, José Corti «Les Essais», 2015.
- MR** *Le matérialisme rationnel* [1953], Paris, Puf «Quadrige», édition établie par Lucie Fabry, 2021.
- NES** *Le nouvel esprit scientifique* [1934], Paris, Puf «Quadrige», édition établie par Vincent Bontems, 2020.

- PCCM** *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne* [1932], Paris, Vrin «Bibliothèque des textes philosophiques», 1973.
- PE** *La poétique de l'espace* [1957], Paris, Puf «Quadrige», édition établie par Gilles Hieronimus, 2020.
- PF** *La psychanalyse du feu* [1938], Paris, Gallimard «Folio essais», 1985.
- PN** *La philosophie du non. Essai d'une philosophie du nouvel esprit scientifique* [1940], Paris, Puf «Quadrige», édition établie par Jean-Jacques Wunenburger, 2025.
- PR** *La poétique de la rêverie* [1960], Paris, Puf «Quadrige», 2016.
- RA** *Le rationalisme appliqué* [1949], Paris, Puf «Quadrige», édition établie par Michel-Elie Martin, 2024.
- TRR** *La terre et les rêveries du repos* [1948], Paris, José Corti «Les Massicotés», 2004.
- TRV** *La terre et les rêveries de la volonté* [1948], Paris, José Corti «Les Massicotés», 2003.
- VIR** *La valeur inductive de la relativité* [1929], Paris, Vrin «Bibliothèque des textes philosophiques», 2014.

NOTE SUR LA PRÉSENTE ÉDITION

Établie à partir du texte de l'édition originale des Puf, cette nouvelle édition en conserve la graphie, y compris lorsqu'elle présente une orthographe rare ou obsolète ; la ponctuation, y compris lorsqu'elle s'écarte de la norme syntaxique ordinaire ; la lettre des citations, y compris en cas d'inexactitude par rapport au texte original cité. L'intégrité du texte se trouve ainsi respectée.

L'éditeur s'est toutefois autorisé certaines interventions dans le corps du texte et dans les notes de bas de page, avec l'intention d'offrir un texte plus clair et plus fiable.

Ces interventions prennent les formes suivantes :

- Signalées par des crochets, elles indiquent des corrections et/ou des compléments apportés à une référence bibliographique inexacte ou lacunaire, visant à faciliter l'identification et la recherche des sources.
- Signalées par la mention « Note de l'éditeur » (*N.d.É.*), elles visent le plus souvent à préciser une référence bibliographique non indiquée, parfois à signaler une erreur de transcription signifiante de l'auteur, ou à proposer la traduction d'une citation.

Les notes de bas de page, appelées par des lettres (a, b, c), sont de Gaston Bachelard lui-même, sauf

quand elles sont précédées de la mention « Note de l'éditeur » (*N.d.É.*). Les notes de l'appareil critique, appelées par des chiffres (1, 2, 3), sont rassemblées en fin d'ouvrage.

G. H., J.-J. W.

PRÉSENTATION PAR CHARLES ALUNNI

Plus la compréhension d'un objet donné est profonde, plus le langage qui le décrit est précis et riche. En effet, en science, ce langage est un outil de connaissance. Mais plus le langage d'une branche scientifique donnée est riche, plus il est difficile à comprendre pour les autres. Une personne qui choisit d'être polyglotte en physique court le risque de ne plus avoir ni l'énergie ni l'élan nécessaires à une activité créatrice. Quiconque fait de la recherche scientifique doit se battre sur deux fronts : lutter à la fois *contre la nature* et *contre sa propre ignorance*. Sur le premier front, de nouvelles connaissances scientifiques émergent ; sur le second, on essaie de maîtriser ce que d'autres ont créé. *Ces deux types d'activité sont indissociables*^a.

L'annihilation d'un corpuscule consacre, nous semble-t-il, *la défaite du chosisme* [...] [F]aut-il que nous en soulignons tout de suite *l'importance philosophique*. C'est d'autant plus nécessaire que ces phénomènes de création et d'annihilation corpusculaires ne retiennent guère l'attention du commun des philosophes. Cette

* Je tiens ici à remercier très chaleureusement Madame Nathalie David, non seulement pour l'aide indispensable qu'elle m'a apportée dans la réalisation de ce travail, mais également pour son grand professionnalisme.

a. Lev Borisovich Okun, *Particle Physics : The Quest for the Substance of Substance*, Chur, Harwood Academic Publishers « Contemporary Concepts in Physics », 1985, p. 3.

indifférence devant des phénomènes si curieux est une *marque nouvelle de la profonde séparation de l'esprit philosophique et de l'esprit scientifique*. Quand, devant un public de philosophes, on évoque ces phénomènes d'annihilation et de création, on s'aperçoit quasi phénoménologiquement de cette *indifférence*, on lit vraiment cette indifférence sur les visages. De tels phénomènes sont, pour le philosophe moderne, des phénomènes « de la science », ce ne sont pas des phénomènes « de la nature ». Le philosophe les accepte sans discuter – il faut bien ! – *et il passe*. Il n'en tient pas compte en philosophie. *Il garde ses absolus dans le temps même où la science en prouve le déclin*.

ARPC, p. 161, nous soulignons

Une idée qui évolue est un *centre organique* qui s'agglomère.

NES, p. 181

Les conditions mathématiques indiquent l'être parce qu'elles sont elles-mêmes une partie de l'être, ou mieux encore on peut dire que l'être n'est fait que de leur coordination et de leur richesse^a.

Il faut que les mathématiques gouvernent pour que l'expérience trouve sa pleine cohérence.

ARPC, p. 108

a. Gaston Bachelard, *La valeur inductive de la relativité*, Paris, Vrin, 1929, p. 211. Une nouvelle édition dirigée par Daniel Parrochia est parue chez Vrin en 2014. L'ancienne pagination étant reportée en marge de la nouvelle, nous nous en tiendrons à celle-là tout au long du texte.

1. UN NOUVEAU CONTEXTE GÉNÉRAL DES ÉTUDES BACHELARDIENNES

Depuis environ une vingtaine d'années, les recherches consacrées à la philosophie bachelardienne ont pris de nouveaux chemins. Le lecteur de 1951, date de publication de *ARPC*, ne saurait être identique au lecteur de 2025. Depuis un quart de siècle, le contexte des études bachelardiennes a profondément changé, et c'est un nouveau paysage qui se présente désormais devant nos yeux. D'une part se sont succédé différentes étapes dans la reconstruction du corpus bachelardien, au point de faire émerger de nouveaux concepts clés devenus désormais standards tels que « mathématisme », « induction », « surrationalisme ». Sur cette inflexion, on peut consulter la nouvelle revue *Bachelard Studies / Études Bachelardiennes / Studi Bachelardiani* portée par l'éditeur italien Mimesis^a. Sur un plan plus strictement « épistémologique » et sur l'émergence d'orientations méthodologiques nouvelles, il convient de renvoyer au numéro 1-2 (2022) de la revue intitulé *Gaston Bachelard and Philosophy of Science Today*^b. Si le « personnage conceptuel » Gaston Bachelard s'inscrit effectivement dans l'histoire et dans le temps – il ne s'agit pas d'un monolithe figé et desséché –, il convient de reconstituer brièvement les quelques étapes qui l'inscrivent dans cette histoire. On peut, sans simplifier excessivement, parler de trois vagues qui auront ponctué et rythmé les études bachelardiennes entre le début des années 1960 et le premier quart du XXI^e siècle.

a. <https://www.mimesisjournals.com/ojs/index.php/bachelardstudies/index>

b. <https://www.mimesisjournals.com/ojs/index.php/bachelardstudies/issue/view/134>

A. Première vague

On peut indiquer qu'elle représente la période où émerge essentiellement le problème du « dualisme » bachelardien. Quelles furent les interprétations qui ont avant tout récusé la « vulgate dualiste », puis opéré en faveur d'une réévaluation de la lecture strictement dualiste de Bachelard ? Ce sont très précisément les études inaugurales de Jean Hyppolite, de Georges Canguilhem et de François Dagognet. Ces travaux furent alors occultés par le succès des lectures d'inspiration althusserienne et « marxisante » de l'épistémologie bachelardienne : une vague qui se souleva et domina en France des années 1960 aux années 1980. Dans un premier texte consacré en 1954 à l'œuvre de celui qu'il présente alors comme son maître et son ami, et dont il soulignera encore, dix ans plus tard, la dimension « énigmatique », Jean Hyppolite invite à considérer la philosophie de Gaston Bachelard, suivant une formule qui deviendra pour le moins proverbiale, comme un « romantisme de l'intelligence, une théorie transcendante de l'imagination créatrice ». Et Hyppolite de préciser : « Ce n'est pas son moindre intérêt que de la voir se développer sur ces deux voies très différentes en apparence. Elles paraissent parfois sortir d'un centre commun ou se rejoindre ici et là, elles paraissent d'autres fois s'opposer radicalement, se servir mutuellement d'antithèse dialectique ; l'une sert à se purifier de l'autre. On sent bien, pourtant, sans pouvoir encore l'exposer, qu'elles appartiennent à une même philosophie, à un même existentialisme spéculatif et esthétique »^a. Hyppolite reprendra ce thème en 1963, neuf ans plus tard, sous une

a. Jean Hyppolite, « Gaston Bachelard ou le romantisme de l'intelligence », *Revue philosophique*, t. 144, janvier-mars 1954. Ce texte est repris dans *Figures de la pensée philosophique. Écrits de Jean Hyppolite (1931-1968)*, t. II, Paris, Puf, 1971, p. 644-645 (c'est nous qui soulignons).

forme d'autocritique : « L'unité de la pensée du savant et de celle du poète n'est pas une unité scolaire, qu'on découvre dans une idée générale, une fausse abstraction. Il y a sûrement un centre, un point de réconciliation, un foyer vivant où tout converge^a ». C'est dans une perspective semblable que Georges Canguilhem intervient dans le débat, à l'occasion du volume collectif *Hommage à Gaston Bachelard*, ouvrage qui regroupe diverses études recueillies auprès de collègues, d'élèves, de disciples et d'amis. Canguilhem introduit son discours en allant droit au but, à savoir en soulignant une difficulté notable : « Si c'est bien le "même homme" qui a effectivement écrit sur la science et sur la poésie, et si l'on peut, après une lecture attentive de l'œuvre et une réflexion approfondie, identifier une "même démarche" dans les divers travaux de Bachelard, cela n'apparaît pas nécessairement en première approximation^b ».

Avec François Dagognet, nous constatons que dans son premier travail significatif il affronte le problème de la dualité du bachelardisme sous le titre : « Le problème de l'unité » : « Nous plaiderons donc contre l'écartèlement, contre cette excessive dissociation. Nous développerons la thèse moins d'un contraste entre les deux régions de son Univers que de la mutuelle contamination de l'un par l'autre. Les deux bords, que Bachelard a tant disjoints,

a. Jean Hyppolite, « L'imaginaire et la science chez Bachelard », conférence faite à Bruxelles le 7 février 1963, in *Figures de la pensée philosophique*, op. cit., p. 677 (nous soulignons).

b. Georges Canguilhem, « Sur une épistémologie concordataire », in *Hommage à Gaston Bachelard. Études de philosophie et d'histoire des sciences*, Paris, Puf, 1957, p. 3-12. Cité par Julien Lamy, « Le dualisme bachelardien, un "faux problème" ? », *Cahiers Gaston Bachelard*, n° 12, 2012, et « Le pluralisme cohérent de la philosophie de Gaston Bachelard », thèse de doctorat en philosophie, sous la direction de Jean-Jacques Wunenburger, Lyon, 2014.

se rejoignent, à son insu, par en-dessous»^a. Il est particulièrement notable qu'ici, dans ce même texte, Dagognet insiste sur la dimension (quasi)épistémologique des recherches bachelardiennes sur les images^b : Bachelard élabore de fait ce qu'il prétendait réfuter : « Et ce qu'il ne voulait pas, il l'a, malgré tout, élaboré, une néo-science de la Littérature »^c.

B. Deuxième vague

La deuxième vague commence durant les années 1970. Si l'on met de côté le volume important – sur lequel je reviendrai – publié très exactement en 1974 sous le titre *Bachelard. Colloque de Cerisy*, cette deuxième vague correspond à la séquence d'une lecture marxiste de Bachelard, une sorte de séquence de « clôture inaugurale » ou d'« entrée à reculons » dans l'œuvre du maître. Ce fut tout à la fois un moment stimulant et profondément décevant, insatisfaisant. C'est le moment de l'enseignement de Dominique Lecourt en Sorbonne, et celui d'Althusser et Derrida à l'École normale. L'orientation donnée au

a. François Dagognet, « Le problème de l'unité », *Revue internationale de philosophie*, vol. 38, n° 150 (3), 1984, p. 245-256 (ici p. 248).

b. Voir sur ce point Gérard Chazal, « Bachelard, penseur de la physique du xx^e siècle », *Cahiers Gaston Bachelard. À l'occasion de l'année mondiale de la physique*, n° 7, 2005, p. 5-22. Ce texte est pour partie consacré à la question du *statut de l'image dans la physique contemporaine*. L'article rappelle certaines des *fonctions épistémologiques positives* de l'image – au-delà de ses fonctions illustrative ou pédagogique, elle est présentée comme un véritable support du travail scientifique, illustré notamment par la façon dont le concept « grignote » parfois, comme chez Fourier, « l'image de la quantité de chaleur qui s'écoule », en la remplaçant par un vecteur, et en la quantifiant par un gradient (p. 13) ; démarche présentée comme analogue à celle qui conduit à remplacer l'idée d'un fluide électrique par celle d'un flux d'électrons (p. 13-14). Je remercie ici Gilles Hieronimus pour m'avoir signalé l'existence de cet article.

c. *Ibid.*, p. 248. Voir, sur cette question, Jean-Jacques Wunenburger, *Philosophie des images*, Paris, Puf, 2001².

bachelardisme par Louis Althusser et ses acolytes^a, qui va essentiellement dans le sens d'un « matérialisme dialectique » pensé en termes exclusivement épistémologiques, a largement conditionné la réception et la manière d'affronter l'œuvre de Bachelard en France ; et ce, avec le risque de transmettre une image déformée et simplifiée du bachelardisme, image qui n'est plus conforme à ce que nous trouvons effectivement à la lecture des textes qui composent l'œuvre prise dans son intégralité, avec son audace spéculative et ses visions parfois énigmatiques. Une œuvre que nous devons nous efforcer d'expliquer et d'analyser, et non de disqualifier *a priori* sur la base d'une pétition de principe^b.

On peut désormais parler de cette période comme celle d'une « vulgate bachelardienne » ne constituant qu'une simple approximation du bachelardisme, une approximation immédiate et naïve qui attendait d'être rectifiée par une seconde approximation. Le mot d'ordre était alors celui de « coupure épistémologique », formule que Bachelard n'a jamais utilisée, mais qui devint la clé quasiment exclusive pour toute tentative de pénétration dans l'œuvre.

On citera ici les œuvres de Michel Vadée^c et de Dominique Lecourt^d qui appliquaient à leur réflexion sur

a. Voir, sur ce point, Louis Althusser, *Philosophie et philosophie spontanée des savants* [1967], Paris, F. Maspero, 1974. Françoise Balibar, « Le cours de philosophie pour scientifiques », in Andrea Cavazzini (dir.), *Scienza, epistemologia, società. La lezione di Louis Althusser*, Milan/Udine, Mimesis, 2015, p. 15-27.

b. Cf. par exemple, Charles Alunni, « Gaston Bachelard, encore et encore », préface à *Gaston Bachelard, Métaphysique des mathématiques*, Paris, Hermann « Pensée des sciences », 2021, p. 7-22. Plus généralement, voir Charles Alunni, *Spectres de Bachelard. Gaston Bachelard et l'école surrationaliste*, Paris, Hermann « Pensée des sciences », 2019, passim.

c. Michel Vadée, *Bachelard ou Le nouvel idéalisme épistémologique*, Paris, Éditions sociales, 1975.

d. Dominique Lecourt, *Bachelard ou Le jour et la nuit*, Paris, Grasset, 1974.

l'œuvre de Bachelard une structure de pré-compréhension extrinsèque, trop éloignée des interrogations, des thèmes et des concepts qui l'animaient, tant du point de vue de son organisation que de ses développements internes. Tous deux avançaient le problème de l'interprétation de Bachelard à travers le prisme de l'héritage marxien et de sa réception française, en se situant dans l'espace théorique ouvert par la lecture qu'Althusser faisait du matérialisme dialectique. Et Georges Canguilhem avait bien perçu ce biais quand, dans sa préface au livre de Dominique Lecourt, *L'épistémologie historique de Gaston Bachelard*, publié en 1969, il invitait son lecteur à prendre conscience qu'il « mobilise, pour son étude, certains concepts épistémologiques dont le lieu d'importation n'est pas dissimulé^a ».

Dans le cadre d'une reconstruction du bachelardisme officiel en France, on ne saurait nier qu'il est clairement nécessaire de renvoyer aux travaux de Dominique Lecourt, en ce sens qu'ils constituent durant cette période le paradigme même de la réception française de Bachelard et un axe essentiel de cette réception. Dès ses premières publications, Lecourt a décidément travaillé à la valorisation du patrimoine bachelardien, en particulier avec son invention du néologisme « épistémologie historique » proposé dès 1969 pour qualifier sa philosophie des sciences. Enfin, c'est à lui que l'on doit cette insistance sur l'énigmatique duplicité de l'œuvre et du personnage inscrite dans le titre même de son ouvrage, *Bachelard ou Le jour et la nuit*^b.

En conclusion, et en bref, disons que la vision de l'œuvre bachelardienne est alors faussée, dénaturée,

a. Dominique Lecourt, *L'épistémologie historique de Gaston Bachelard* [1969], Paris, Vrin, 1978⁵, avant-propos de Georges Canguilhem, p. 7 (nous soulignons).

b. D. Lecourt, *Bachelard ou Le jour et la nuit*, op. cit., passim.

déformée et incomplète, pour ne pas dire mutilée, malgré cette vague de renouveau.

C. Troisième vague. Des années 1980 à nos jours

Cette vague, bien plus récente et bien plus complexe, n'est autre que notre contemporain. Il n'est qu'à souligner ici l'importance des recherches de spécialistes comme Jean-Jacques Wunenburger, Daniel Parrochia, Giuseppe Sertoli, Gaspare Polizzi, Carlo Vinti, Maria Rita Abramo, Francesca Bonicalzi ou Mario Castellana et, dans la nouvelle génération, Fabrizio Palombi, Gerardo Ienna, Paola Donatiello, Francesco Garofalo, Michel-Élie Martin, Julien Lamy, Gilles Hieronimus ou Vincent Bontems.

Nous sommes partis de cette base, de ce fonds représenté par les deux premières vagues, elles-mêmes conçues comme progression dans les études consacrées à l'œuvre de Gaston Bachelard, en ayant à l'esprit l'énigme d'une dualité prétendue.

Or, il nous semble désormais nécessaire, non seulement de reprendre la lecture « interne » des textes, souvent bien plus difficile qu'il n'y paraît, mais également d'en étendre l'analyse au « compagnonnage » de Bachelard avec les scientifiques-philosophes les plus notables (ses contemporains) qui partageaient avec lui ce que nous appelons désormais son « surrationalisme » (Edmund Husserl parlera en 1935 de « ein Art Überrationalismus »), catégorie centrale élaborée par Bachelard en 1936^a.

Une autre manière de formuler ce nouvel horizon, qui est celui d'un Gaston Bachelard rectifié, serait de parler ici des spectres de Gaston Bachelard^b.

a. Gaston Bachelard, « Le surrationalisme », in *Inquisitions. Organe du Groupe d'études pour la phénoménologie humaine*, n° 1, juin 1936 ; rééd. *Inquisitions. Du surréalisme au Front populaire*, Paris, Éd. du CNRS, 1990.

b. Voir, sur ce point, C. Alunni, *Spectres de Bachelard*, *op. cit.*

Ce cadre générique qui est celui du «surrationalisme» est caractérisé par les dialectiques de la raison : celle-ci remet en effet en question son axiomatique, et elle se réforme à partir des expériences qui l'infirment. Ici, les spectres, présents partout, jouent simultanément comme concepts scientifiques et épistémologiques distribuant les «philosophèmes» d'un nouvel esprit scientifique, et comme «fantômes» des actes épistémologiques de savants élaborant leur propre description épistémologique.

Dès lors : quels sont les traits essentiels de cette «figure Bachelard» ou de son «personnage conceptuel» qui doivent absolument être rectifiés ou adjoints aux différents profils élaborés jusqu'ici durant les trois vagues brièvement décrites ci-dessus ?

C'est essentiellement le «trait» mathématique de ce grand spécialiste de la physique mathématique. Et ce trait se profile à partir de 1927, dès sa thèse d'État, avec l'*Essai sur la connaissance approchée*^a, et sa thèse complémentaire, *Étude sur l'évolution d'un problème de physique. La propagation thermique dans les solides*^b. Il convient d'y ajouter, formant ainsi un triptyque fondateur, *La valeur inductive de la relativité*, paru en 1929^c. On peut montrer facilement que la «figure mathématisante» du Bachelard philosophe des sciences, qui est extrêmement sensible aux développements de l'algèbre contemporaine, aux géométries non euclidiennes, à la théorie de jauge weyllienne, mais également aux questions logiques et axiomatiques,

a. Gaston Bachelard, *Essai sur la connaissance approchée*, Paris, Vrin, 1927.

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

c. Gaston Bachelard, *La valeur inductive de la relativité*, Paris, Vrin, 1929 ; rééd. Paris, Vrin, 2014².

est déjà intégralement présente et dominante au cœur de ces trois textes inauguraux^a.

Si certaines des études bachelardiennes consacrées à la théorie einsteinienne de la relativité générale ou aux mathématiques « modernes »^b sont pour partie déjà avancées, il reste encore à développer ces approches nouvelles sous bien des angles et à porter désormais une bien plus grande attention aux analyses absolument fondamentales que Bachelard a pu proposer de la mécanique quantique.

Dans le même sens, il faut continuer à interroger ses interactions avec l'« école surrationaliste » des physiciens, mathématiciens et philosophes de son époque, tout en interrogeant les prolongements de son œuvre chez nos contemporains.

2. STATUT DE *ARPC*

La parution en 1951 de *ARPC* place cet ouvrage entre *Le rationalisme appliqué* (1949) et *Le matérialisme rationnel* (1953), tant dans leur situation dans le temps que comme une sorte de mise en œuvre dialectique, appliquée au champ de la mécanique quantique,

a. Voir sur ce point crucial le rôle central et profondément ambigu de Roger Martin dans l'interprétation erronée qu'il donne du rapport de Bachelard au monde mathématique : Roger Martin, « Bachelard et les mathématiques » [1970], in Henri Gouhier et René Poirier (dir.), *Bachelard. Colloque de Cerisy*, Paris, UGE « 10/18 », 1974. Pour une analyse critique de cette position devenue absolument dominante, cf. Charles Alunni, « Bachelard face aux mathématiques », in *Spectres de Bachelard*, op. cit., chap. IV, p. 113-138.

b. Je renvoie ici à la nomenclature établie par Fernando Zalamea dans sa *Philosophie synthétique de la mathématique contemporaine*, Paris, Hermann « Pensée des sciences », 2018 ; et en particulier sur sa distinction fondamentale entre « mathématiques modernes » et « mathématiques contemporaines », et entre « mathématiques élémentaires » et « mathématiques avancées » ; cf. chap. 1 et chap. 2, p. 19-78.

des dispositifs théoriques élaborés *entre* un rationalisme appliqué et un matérialisme rationnel. C'est aussi ce qui en fait l'avant-dernier texte consacré entièrement à la philosophie des sciences *stricto sensu*. Il constitue, avec *L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine* publié en 1937, l'ouvrage le plus profond consacré par l'auteur à la physique quantique. On pourrait y joindre *Le nouvel esprit scientifique* paru trois ans plus tôt, livre hybride entre mécanique ondulatoire et théorie de la relativité. Mais un pont doit être également établi avec ce concept clé de *La valeur inductive de la relativité*, l'« induction » : « [L]es mécaniques ondulatoire et quantique développent une *induction* à très longue portée, une induction qui étend et dialectise les principes de la science classique [...] Une des leçons philosophiques de la mécanique ondulatoire devrait nous aider à *revaloriser la notion philosophique d'extension*, jadis mieux appréciée. *La valeur inductive de la mécanique ondulatoire* est vraiment extraordinaire^a. »

La table des matières de *ARPC* indique clairement l'objet central de l'ouvrage, un objet qui est tout à la fois historique et thématique : I. « Les récurrences historiques. Épistémologie et histoire des sciences. La dialectique onde-corpuscule dans son développement historique » ; II. « Le mouvement et les philosophes. Images simples et

a. *ARPC*, ci-dessous p. 123 (nous soulignons). Sur l'importance fondamentale des catégories bachelardiennes d'*induction* et d'*induction mathématique*, cf. Charles Alunni, « Relativités et puissances spectrales chez Gaston Bachelard », *Revue de synthèse*, vol. 120, n° 1, 1999, p. 73-110. Voir également Maria Rita Abramo, « Il razionalismo “induttivo” di Gaston Bachelard », thèse de doctorat en philosophie, Università degli Studi di Messina, Cospecs, Messine, 2019 ; « Sul valore “induttivo” del razionalismo di Gaston Bachelard », *Bachelard Studies / Études Bachelardiennes / Studi Bachelardiani*, n° 1-2, 2022, p. 25-38 ; Sandra Pravica, « Enveloppement – Bachelard et les philosophies de l'induction », *ibid.*, p. 161-187, <https://www.mimesisjournals.com/ojs/index.php/bachelardstudies/article/view/2133>

mathématiques complexes»; III. «La notion de corpuscule dans la science contemporaine»; IV. «La diversité des corpuscules élémentaires»; V. «Le rationalisme de l'énergie»; VI. «Effet photoélectrique. Photon»; VII. «Le spin et le magnéton»; VIII. «Les opérateurs»; IX. «Les intuitions de la mécanique ondulatoire»; X. «La dualité corpuscule et onde»; «Conclusion. Déterminisme rationnel et déterminisme technique». Cet objet a en vue la physique théorique et, plus précisément, la mécanique ondulatoire et la théorie des particules élémentaires tout juste naissante. Comme nous l'avons déjà indiqué, il est précédé d'un *pré*-texte, d'une sorte de socle axiomatique que représente *L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine*. À nouveau, la table des matières y apparaît comme hautement indicative: I. «Réalisme et localisation»; II. «Le principe d'incertitude de Heisenberg et la localisation microphysique»; III. «Le principe de Heisenberg et la forme assignable aux corpuscules»; IV. «Les opérateurs mathématiques»; V. «Le rôle des espaces abstraits dans la Physique contemporaine». Il est dès lors difficile d'envisager la lecture de l'un sans une lecture préliminaire de l'autre^a. Il convient d'indiquer ici les points communs aux deux traités, en relevant les thèmes qui se trouvent au centre de *L'expérience de l'espace*, et qui se retrouveront, sous une forme parfois différente, au cœur de *ARPC*: une critique radicale du réalisme des choses comme réalisme de l'étendue où *les caractères statiques priment les caractères dynamiques*. La recherche d'une localisation affinée et une critique radicale du positivisme de la mesure. L'étude topologique des objets face au recours réaliste à des expériences proprement

a. Fort malheureusement, *L'expérience de l'espace* publié chez Alcan, Imprimerie des Presses universitaires de France, n'a connu aucune réédition depuis 1937, ce qui ne simplifie guère la tâche du lecteur.

géométriques : « L'objet *est* puisqu'il est *là* » ou le *lieu* comme racine géométrique de l'expérience de localisation. Le point conçu comme centre de gravité ontologique à la racine de l'expérience topologique : « Échappant au *point*, la localisation se développe en une *loi de voisinage sans singularité*^a ». Réalisme et Relativité jouent sur l'*extérieur* du réel et le Réaliste conserve la *substance intérieure* du réel. La mécanique quantique comme *tremblement essentiel de l'objet* (qui tient mal son lieu). La *chose-mouvement* possède un caractère granulaire qui trouble le réalisme de l'étendue. La relation de contenant à contenu et le concept d'*enveloppe*. Le *probabilisme* comme la matière même d'un réalisme *instruit*. Le rôle des *opérateurs mathématiques* comme distributeurs de valeurs probables (Dirac). La « présence du réel » comme probabilité de présence d'une topologie active. Le principe de Heisenberg comme impossibilité de séparer *géométrie et énergétique*. Le *postulat de non-analyse* d'Adolphe Buhl comme postulat fondamental de la physique non cartésienne. Micro-ontologie et hégélianisme objectif que nous apprend le microphénomène. « Enfermer c'est *stabiliser* » (le Réaliste) et « Enfermer c'est *agiter* » (le Physicien quantiste). Distribution en réseau dont seuls les sommets représentent des expériences possibles. Base de calcul comme *distribution arithmétique*. Usage axiomatique du principe de Heisenberg. Statistique de Fermi-Dirac. Problème des *formes* en micro-physique. Impossibilité de l'accroissement continu de la vitesse angulaire d'un micro-objet. La place de la *décision axiomatique* qui crée une science nouvelle. Les opérateurs mathématiques et les trois stades : conception *réaliste*, conception *symbolique* et conception *opératoire*.

a. *Ibid.*, p. 43.

3. POUR UNE LECTURE MISE À JOUR DE *ARPC*

Avec *ARPC*, Bachelard analyse l'état de la physique des particules à un moment charnière qui sera immédiatement suivi, après 1951, puis tout au long des années 1960 et 1970, d'une deuxième phase extrêmement importante apportant des développements conceptuels et expérimentaux qui ne peuvent, d'un point de vue philosophique, qu'être fusionnés au sein d'un *matérialisme rationnel* et d'un *rationalisme appliqué*.

Quelle est donc, très brièvement et très sommairement, la situation de la physique des particules jusqu'à cette date de 1951 ; une situation face à laquelle Bachelard se trouvait au moment de rédiger son livre sur la physique contemporaine ?

1913. Modèle atomique de Bohr

Niels Bohr utilise la théorie quantique pour décrire les orbites électroniques, les excitation et désexcitation des électrons.

1914. Définition du numéro atomique

Le physicien britannique Henry Gwyn Jeffreys Moseley définit la notion de numéro atomique : il correspond au nombre des électrons du noyau atomique.

Invention du mot proton

Ernest Rutherford utilise pour la première fois le mot proton pour désigner la particule portant une charge électrique positive qui constitue le noyau de l'atome d'hydrogène.

Confirmation expérimentale du modèle de Bohr

Les physiciens allemands James Franck et Gustave Hertz confirment expérimentalement les orbites électroniques prévues par le modèle de Bohr.

1923. Association onde-particule de De Broglie

Louis de Broglie suggère que chaque particule pourrait être associée à une onde.

1926. Modèle atomique de Schrödinger

Erwin Schrödinger établit un modèle ondulatoire de l'atome dans lequel les électrons sont décrits mathématiquement sous forme d'onde. Ce modèle implique l'équation d'onde de Schrödinger.

1931. Hypothèse de l'existence du neutrino

Wolfgang Pauli suppose l'existence d'une particule neutre, de masse nulle correspondant à l'énergie manquante lors de la désintégration β^- . Enrico Fermi baptisera cette particule neutrino.

1932. Découverte du neutron

Le physicien James Chadwick découvre l'existence d'une particule neutre comme composante du noyau atomique : le neutron.

Modèle de Heisenberg du noyau atomique

Werner Heisenberg propose un modèle de noyau atomique composé à la fois de protons et de neutrons ; il fait l'hypothèse que s'exerce entre eux une force attractive permettant d'expliquer la stabilité des noyaux.

Découverte du positron

Le physicien américain Carl David Anderson découvre, en étudiant les rayons cosmiques, l'antiparticule de l'électron qu'il nomme positron (il est aussi appelé positon).

1934. Détermination de la masse du neutron

James Chadwick et Maurice Goldhaber déterminent la masse du neutron.

1937. Découverte du muon

Carl David Anderson découvre une particule qui a d'abord été supposée être un pion mais qui s'est ensuite avérée être un muon.

1939. Détermination du moment magnétique du neutron

Félix Bloch détermine le moment magnétique du neutron et en déduit que celui-ci est neutre mais constitué de particules plus petites électriquement chargées (qui s'avéreront plus tard être des quarks).

1940. Mise au point du bêtatron

Le physicien américain Donald William Kerst met au point le bêtatron, un cyclotron qui permet de conférer aux électrons une vitesse proche de celle de la lumière.

1946. Invention du mot lepton

Abraham Pais et Christian Møller inventent le terme de lepton pour désigner des particules telles que les électrons et les muons qui ne sont pas sensibles à l'interaction forte.

1947. Découverte du pion

Le physicien britannique Cecil Frank Powell découvre la particule subatomique nommée π -meson ou pion.

Le lecteur constatera que Bachelard commente la plupart de ces événements, et plus encore, comme nous allons le voir.

Quelle est donc la situation après 1951 ?

1952. Découverte du méson K

Les physiciens polonais Marian Danysz et Jerzy Pniewski découvrent le méson K (ou kaon), une particule dont la masse est la moitié de celle du proton.

1953. Invention de la chambre à bulles

Le physicien américain Donald Arthur Glaser invente la chambre à bulles qui permet de faire la détection des particules chargées : sur leur trajectoire se forme une série de petites bulles.

1954. Mise au point du bévatron

Les scientifiques de l'université de Californie mettent au point le bévatron. Il s'agit d'un accélérateur de particules qui permet de fournir à des protons une énergie allant de 5 à 6 milliards d'électrons-volts.

Invention du mot baryon

Abraham Pais invente le terme « baryon » pour désigner la classe de particules élémentaires sensibles à l'interaction forte.

1955. Découverte de l'antiproton

Emilio Segrè et Owen Chamberlain découvrent l'antiproton, une particule de même masse que le proton mais de charge électrique négative.

1956. Découverte des antineutrinos

Les physiciens américains Frederick Reines et Clyde Lorrain Cowan découvrent les antineutrinos.

1961. Formulation du théorème de Goldstone

Le physicien britannique Jeffrey Goldstone formule le théorème de Goldstone et prévoit l'existence d'une particule de spin 0, de masse nulle appelée boson de Goldstone.

1964. Prédiction de l'existence du boson de Higgs

Le physicien britannique Peter Higgs prévoit l'existence d'une particule de spin 0 mais de masse non nulle appelée par la suite boson de Higgs.

1972. Formulation de la théorie de la chromodynamique quantique

Le physicien américain Murray Gell-Mann élabore la théorie de la chromodynamique quantique qui décrit le comportement des quarks.

1974. Découverte du méson J/Ψ

Samuel Ting et Burton Richer découvrent une nouvelle particule subatomique appelée particule J/Ψ . Cette découverte sera récompensée par le prix Nobel en 1976.

1977. Découverte de la particule Y (upsilon)

Le physicien américain Leon Max Lederman découvre la particule upsilon.

1979. Découverte des gluons

Preuve de l'existence des gluons, particules par l'intermédiaire desquelles les quarks interagissent.

Cette séquence correspond à l'établissement du modèle standard de la physique des particules. C'est une théorie qui concerne l'électromagnétisme, les interactions nucléaires faible et forte, et la classification de toutes les particules subatomiques connues. Elle a été développée pendant la seconde moitié du xx^e siècle, dans une initiative collaborative mondiale, sur les bases de la mécanique quantique. La formulation actuelle a été finalisée au milieu des années 1970 à la suite de la confirmation expérimentale de l'existence des quarks.

Il convient ici de citer un passage particulièrement impressionnant du texte de Bachelard :

Ce corpuscule [le positon], dans certaines vues nouvelles, est l'occasion de propositions qui, si elles se confirmaient, pourraient offrir

d'étranges sujets de méditation au philosophe. Dans un récent congrès de physiciens, le savant américain Feynman a fait une communication où il suppose que le positon est un électron *néгатif* qui « remonte le cours du temps ». En suivant de telles suggestions, on pourrait parler d'une causalité de l'avenir, on devrait postuler pour le temps microphysique une réversibilité. M. Louis de Broglie met en relation la thèse de Wheeler et Feynman avec un travail du savant italien Luigi Fantappiè, professeur à l'Université de Rome : *Principi di una teoria unitaria del mondo fisico e biologico* (Rome, Humanitas nova, 1944). (ARPC, p. 195)

Il est particulièrement notable qu'en 1951, le philosophe Gaston Bachelard renvoie non seulement à Richard Feynman, mais également à John Archibald Wheeler, deux physiciens théoriciens américains qui ont révolutionné la physique théorique des années 1960-1970, l'un par l'invention de ses diagrammes^a, système révolutionnaire de représentation graphique des équations décrivant les interactions des particules subatomiques dans le cadre de la théorie quantique des champs, et l'autre qui inventa, forgea et popularisa le terme « trou noir » pour désigner ce que l'on nommait jusque-là « astres occlus » ou « singularités »^b.

a. Richard Feynman a proposé en 1948 un ensemble de règles permettant d'effectuer ce calcul de probabilités au travers de diagrammes, qui portent aujourd'hui son nom. Suivant la philosophie de *l'intégrale de chemin*, et conservant un *caractère intuitif*, la démarche consiste à établir pour un processus donné tous les scénarios possibles ayant le même état initial et le même état final. Tous ces scénarios ne sont pas aussi probables les uns que les autres, ils sont donc pondérés en conséquence. Négliger les scénarios les moins probables revient à tronquer le développement perturbatif à un certain ordre.

b. Voir ci-dessous les notes 171 et 172.