

Paul HALPERN

Le dé d'Einstein et le chat de Schrödinger

Quand deux génies s'affrontent

Traduit de l'anglais (États-Unis)
par Benoît Clenet

Préface de Marc Lachièze-Rey

DUNOD

Chez le même éditeur

Barrau Aurélien, *Big Bang et au-delà*, 2^e édition, 2016

Barrow John, *Le livre des univers*, 2012

Cox Brian, Forshaw Jeff, *L'univers quantique – Tout ce qui peut arriver arrive...*, 2013

Cox Brian, Forshaw Jeff, *Pourquoi $E = mc^2$? – et comment ça marche?*, 2012

Freiberger Marianne, Thomas Rachel, *Dans le secret des nombres*, 2015

Lachière-Rey Marc, *Einstein à la plage*, 2015

Tegmark Max, *Notre univers mathématique – En quête de la nature ultime du Réel*, 2014

L'édition originale de cet ouvrage a été publiée aux États-Unis en 2015
par Basic Books, un membre du groupe Perseus Books sous le titre
Einstein's Dice and Schrödinger's Cat

First published in the United States in 2015 by Basic Books,
a member of the Perseus Books Group

Copyright © 2015 by Paul Halpern

Illustration de couverture: Tofdru

© Dunod, 2016, pour la traduction française

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-074420-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Ce livre est dédié à la mémoire de Max Dresden, mon directeur de thèse, qui m'a réellement inspiré par sa passion pour l'histoire de la physique du xx^e siècle.

«Eh bien, qui suis-je? (Cette question est d'ordre général, le "je" ne se référant pas uniquement au présent rédacteur.) L'"image de Dieu", douée du pouvoir de réfléchir pour découvrir et appréhender Son monde. Aussi naïve que puisse paraître ma contribution, je dois accorder à cela plus d'importance que d'examiner la Nature dans le but d'inventer un dispositif permettant [...] d'éviter par exemple d'éclabousser mes lunettes en mangeant un pamplemousse, ou toute autre commodité fort utile au quotidien.»

Erwin Schrödinger, *The new field theory*

SOMMAIRE

Préface.....	7
Remerciements.....	9
Prologue. Alliés et adversaires.....	11
Chapitre 1. L'Univers mécanique.....	25
Chapitre 2. Le creuset de la gravité.....	59
Chapitre 3. Ondes de matière et sauts quantiques.....	98
Chapitre 4. La quête de l'unification.....	139
Chapitre 5. Connexions fantomatiques et chats morts-vivants.....	160
Chapitre 6. L'Irlandais bienheureux.....	198
Chapitre 7. La physique via les relations publiques.....	225
Chapitre 8. La valse finale : les dernières années d'Einstein et de Schrödinger.....	247
Épilogue. Einstein et Schrödinger, et après?.....	269
Pour aller plus loin.....	287
Notes.....	291
Index.....	309

PRÉFACE

GRANDE HISTOIRE DE LA PHYSIQUE, PETITES HISTOIRES DE LA VIE

La première moitié du xx^e siècle est parsemée de grands noms de la physique. Einstein tout d'abord, maître incontesté, accompagné de tous ceux qui travaillèrent autour de sa théorie de la relativité et de la cosmologie qui en découla *jusqu'aux modèles de big bang*. Et la famille des bâtisseurs de la physique quantique, parmi lesquels Schrödinger est l'un des plus fameux. Son nom est le plus souvent associé à ses collègues quantiques, en particulier à Heisenberg car les deux physiciens ont à peu près simultanément proposé des formulations concurrentes de la toute nouvelle physique quantique, formulations qui devaient se révéler plus tard équivalentes.

Cet ouvrage passionnant propose une association plus déroutante, entre Einstein et Schrödinger. Il retrace leurs destins parallèles dans l'excitation d'une physique en construction. La gloire d'Einstein remonte à l'éclipse de 1919 qui confirma spectaculairement sa théorie de la relativité générale. Et sa renommée résulte essentiellement de cette contribution géniale révolutionnaire, même s'il est aussi reconnu comme initiateur de la physique quantique. Après ces exploits, sa grande affaire fut la recherche d'une théorie unifiée, c'est-à-dire qui dépasserait la relativité générale pour englober les autres phénomènes de la physique, essentiellement l'électromagnétisme. Bien d'autres l'ont suivi dans cette quête. On peut citer, pour la première moitié du xx^e siècle, Weyl, Nordström, Eddington, Schrödinger, Dirac, Kaluza et Klein,

Heisenberg..., dont les contributions sont présentées ici. Il fut longtemps de bon ton de critiquer les tentatives d'Einstein, voire de s'en moquer. Elles se sont pourtant révélées très fécondes, et une grande part de la recherche contemporaine en physique théorique ne fait que suivre (en vain jusqu'à aujourd'hui) les pistes qu'il a inaugurées.

Moins célèbre qu'Einstein, Schrödinger fut un des premiers à proposer une théorie viable de la physique quantique fondée sur des mathématiques cohérentes et bien adaptées. Tous les physiciens connaissent et manipulent son équation qui régit le comportement quantique ; le public l'associe au « chat de Schrödinger » ni mort ni vivant, qu'il mit en scène (en 1935) pour illustrer l'un des problèmes déroutants que pose l'interprétation de la physique quantique.

La connivence entre les deux physiciens s'établit à partir de leur conviction commune d'un déterminisme dans la physique, en particulier quantique. Cette position, qui les éloigna de la communauté des autres physiciens, engendra une amitié qui s'exprima surtout de manière épistolaire. En même temps, ils eurent de nombreux échanges à propos de leurs recherches parallèles d'une théorie unifiée de la physique. C'est à ce propos que, dans les années 1940, quelques vaines questions de prééminence entraînèrent une dégradation de cette amitié, à la suite de déclarations arrogantes de Schrödinger amplifiées par la presse. Puis les années plus calmes de la vieillesse restaurèrent une relation plus sereine.

Affaires de cœur et affaires de guerre, questions politiques et religieuses, débats scientifiques et philosophiques, cheminements parallèles de deux pensées... L'ouvrage de Paul Halpern raconte une amitié perdue et retrouvée, dans le contexte d'une science en effervescence et d'une évolution historique tragique. En même temps qu'une histoire détaillée et documentée de la physique de la première moitié du siècle, il révèle les relations complexes de deux personnalités atypiques, qui parfois s'opposent et parfois se rejoignent.

Marc Lachière-Rey

REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier ma famille pour son soutien infaillible, mes amis et collègues pour m'avoir aidé à finaliser ce projet. Merci à l'équipe enseignante et au personnel de l'université des sciences, à savoir Helen Giles-Gee, Heidi Anderson, Suzanne Murphy, Elia Eschenazi, Kevin Murphy, Brian Kirschner et Jim Cummings, et à mes collègues du département de mathématiques, physique et statistiques et du département des sciences humaines, pour m'avoir encouragé dans mes recherches et ma rédaction. Je suis reconnaissant envers la communauté des historiens des sciences pour son aide, notamment le forum APS sur l'histoire de la physique, le Centre d'histoire des sciences de Philadelphie et le Centre AIP d'histoire de la physique. J'ai surtout apprécié le soutien chaleureux de l'Association des écrivains scientifiques de Philadelphie, notamment Greg Lester, Michal Mayer, Faye Flam, Dave Goldberg, Mark Wolverton, Brian Siano et Neil Gussman. Je remercie les historiens des sciences David C. Cassidy, Diana Buchwald, Tilman Sauer, Daniel Siegel, Catherine Westfall, Robert Crease et Peter Pesic pour leurs suggestions judicieuses et Don Howard pour m'avoir procuré d'utiles références. J'ai grandement apprécié l'aide de la famille de Schrödinger, dont Leonhard, Arnulf et Ruth Braunizer, pour m'avoir éclairé sur sa vie et son travail. Je suis reconnaissant envers le musicien Roland Orzabal et le philosophe Hilary Putnam pour avoir aimablement répondu à mes questions sur leurs productions. Je remercie le journaliste scientifique Michael Gross pour ses conseils amicaux sur la culture et la langue allemandes. J'ai apprécié les encouragements de David Zitarelli, Robert Jantzen, Linda Dalrymple Henderson, Roger Stuewer, Lisa Tenzin-Dolma, Jen Govey, Cheryl Stringall, Tony Lowe,

Michael LaBossiere, Peter D. Smith, Antony Ryan, David Bood, Michael Erlich, Fred Schuepfer, Pam Quick, Carolyn Brodbeck, Marlon Fuentes, Simone Zelitch, Doug Buchholz, Linda Holtzman, Mark Singer, Jeff Shuben, Jude Kuchinsky, Kris Olson, Meg et Woody Carsky-Wilson, Carie Nguyen, Lindsey Poole, Greg Smith, Joseph Maguire, Doug DiCarlo, Patrick Pham et Vance Lehmkuhl. Je suis sincèrement reconnaissant envers Ronan et Joe Mehigan pour leurs photographies des lieux où séjournait Schrödinger à Dublin. Un grand merci à la section des manuscrits de la bibliothèque de l'université de Princeton pour m'avoir permis d'examiner la copie des archives d'Albert Einstein et d'autres documents de recherche, et à la bibliothèque de la Société américaine de philosophie pour l'accès aux archives de l'histoire de la physique quantique. Merci beaucoup à Barbara Wolff et aux Archives Albert Einstein de Jérusalem pour avoir passé en revue mes citations tirées de la correspondance d'Einstein à Schrödinger. Je suis redevable envers l'Académie royale d'Irlande pour ses renseignements sur ses comptes-rendus et la fondation John Simon Guggenheim pour sa bourse de recherche de 2002 qui m'a permis de découvrir la correspondance entre Einstein et Schrödinger.

Je remercie mon éditeur, T. J. Kelleher, pour sa patience et ses suggestions pertinentes, l'équipe de Basic Books, dont Collin Tracy, Quynh Do, Betsy DeJesu et Sue Warga pour leur aide et mon agent formidable, Giles Anderson, pour son soutien enthousiaste.

Je remercie plus particulièrement ma femme Felicia, mes fils Eli et Aden, mes parents Bernice et Stanley Halpern, mes beaux-parents Arlene et Joseph Finston, Richard, Anita, Jake, Emily, Alan, Beth, Tessa et Ken Halpern, Aaron Stanbro, Lane et Jill Hurewitz, Shara Evans et les autres membres de ma famille pour leur amour, leur patience, leurs conseils et leur soutien.

PROLOGUE

ALLIÉS ET ADVERSAIRES

Voici l'histoire de deux éminents physiciens, dont la longue amitié fut déchirée par une guerre médiatique, et du caractère fragile de la collaboration et de la découverte scientifiques.

Alors qu'ils s'élevaient l'un contre l'autre, chacun de ces scientifiques était déjà lauréat du prix Nobel, dans la fleur de l'âge, et avait derrière lui ses principales découvertes. Cependant la presse internationale en a relaté une histoire toute différente : ce fut le récit bien connu d'un compétiteur aguerrri affrontant un arriviste avide de s'emparer du trophée. Tandis qu'Albert Einstein jouissait d'une célébrité extraordinaire, chacune de ses annonces étant relayée par les médias, relativement peu de lecteurs connaissaient les travaux du physicien autrichien Erwin Schrödinger.

Ceux qui suivaient avec ferveur le parcours d'Einstein savaient qu'il s'évertuait depuis des décennies à échafauder une théorie du champ unifié. Il espérait prolonger l'œuvre du physicien britannique du XIX^e siècle James Clerk Maxwell et unifier ainsi les forces de la nature par le truchement d'un jeu élémentaire d'équations. Maxwell avait donné une explication unifiée de l'électricité et du magnétisme, rebaptisés champs électromagnétiques, et les avait identifiés à des ondes lumineuses. La théorie de la relativité générale d'Einstein avait décrit la gravité comme une déformation de la géométrie de l'espace et du temps. La confirmation de cette théorie l'a porté au sommet de sa gloire. Il ne désirait cependant pas en rester là. Son rêve consistait à incorporer les résultats de Maxwell dans une forme étendue de la relativité générale et, de ce fait, à fusionner l'électromagnétisme avec la gravité.

Régulièrement, Einstein annonçait tambour battant une théorie unifiée, jusqu'à ce que celle-ci échoue lamentablement et demande à être remplacée. À partir de la fin des années 1920, l'un de ses objectifs principaux était de bâtir une alternative déterministe à la théorie quantique probabiliste développée entre autres par Niels Bohr, Werner Heisenberg et Max Born. Même si la théorie quantique était expérimentalement confirmée, il la jugeait incomplète. Au fond de lui-même, il pressentait que «Dieu ne joue pas aux dés», comme il l'avait affirmé, et souhaitait reformuler la théorie comme une création mécanistique idéale. Par «Dieu», il entendait la divinité décrite par le philosophe hollandais du XVII^e siècle Baruch Spinoza : l'emblème du meilleur ordre naturel possible. Spinoza avait proclamé que Dieu, synonyme de nature, était immuable et éternel et ne laissait aucune place au hasard. Approuvant Spinoza, Einstein recherchait les lois invariantes qui gouvernent les mécanismes de la nature. Il était absolument déterminé à démontrer que le monde est absolument déterminé.

Exilé en Irlande dans les années 1940 suite à l'annexion de l'Autriche par l'Allemagne nazie, Schrödinger partageait la répugnance d'Einstein pour l'interprétation orthodoxe de la mécanique quantique et vit en lui un col-laborateur naturel. De la même manière, Einstein trouvait en Schrödinger une âme sœur. Après avoir échangé leurs idées au sujet de l'unification des forces, Schrödinger annonça soudainement avoir réussi et focalisa toute l'attention, ce qui provoqua une rupture entre les deux hommes.

Vous avez sans doute déjà entendu parler du chat de Schrödinger – l'ex-périence de pensée féline qui lui a donné toute sa notoriété. Mais jadis, lorsqu'eut lieu cette querelle, peu de gens en dehors de la communauté des physiciens le connaissaient ou avaient eu écho de l'énigme du chat. Tel que le décrivait la presse, il était simplement un scientifique ambitieux résidant à Dublin qui pouvait porter un coup fatal au grand savant.

C'est suite à un article de l'*Irish Press* que la communauté internationale prit conscience du défi de Schrödinger. Celui-ci avait envoyé un long communiqué de presse décrivant sa nouvelle «théorie du Tout», érigeant insolemment son propre travail au même rang que les prouesses du sage grec Démocrite (qui forgea le mot «atome»), du poète latin Lucrèce, du philosophe français Descartes, de Spinoza et d'Einstein lui-même. «Ce n'est pas une chose fort bienséante pour un scientifique

que de promouvoir ses propres découvertes» leur annonça Schrödinger. «Mais puisque la presse le réclame, je le fais¹».

Le *New York Times* exploita cette déclaration pour mettre en scène une bataille entre les méthodes sibyllines d'un individu anticonformiste et l'absence de progrès de la recherche scientifique. «On ne nous dit pas comment Schrödinger a procédé» rapporta-t-il².

Durant un certain laps de temps, l'idée a couru qu'un physicien viennois, dont le nom était alors peu connu du grand public, avait damé le pion à l'illustre Einstein avec une théorie qui expliquait toutes les choses de l'Univers. Il était peut-être temps, pensaient sans nul doute les lecteurs intrigués, de s'intéresser de plus près à ce Schrödinger.

Une énigme macabre

Aujourd'hui, ce qui vient à l'esprit de la plupart de ceux qui ont entendu parler de Schrödinger c'est un chat, une boîte et un paradoxe. Sa célèbre expérience de pensée, publiée dans un article de 1935, «La situation actuelle en mécanique quantique», est l'une des inventions les plus macabres de l'histoire des sciences. On est immanquablement effrayé lorsqu'on l'entend pour la première fois, puis on est soulagé lorsqu'on réalise que c'est juste une hypothétique expérience qui n'a, en toute vraisemblance, jamais été tentée sur un véritable chat.

Schrödinger a proposé son expérience de pensée en 1935 dans un article qui explorait les diverses ramifications de l'intrication quantique. L'intrication (ce terme fut forgé par lui-même) se manifeste lorsque la description de deux particules ou plus est représentée par un unique état quantique, de telle sorte que s'il arrive quelque chose à l'une d'elles, les autres en sont instantanément affectées.

Inspirée en partie par une discussion avec Einstein, l'énigme du chat de Schrödinger pousse les implications de la physique quantique dans leurs derniers retranchements en nous demandant d'imaginer le destin d'un chat qui serait lié à l'état d'une particule. Le chat est placé dans une boîte qui contient une substance radioactive, un compteur Geiger et une fiole scellée de poison. La boîte est close, et un minuteur est réglé de manière précise sur l'intervalle de temps où la substance aurait 50 % de

chance de se désintégrer en libérant une particule. Le chercheur a bricolé son dispositif de sorte que dès que le compteur Geiger détecte la première particule libérée, la fiole est brisée, le poison libéré et le chat tué. En revanche, si aucune désintégration ne survient, le chat est épargné.

Selon la théorie de la mesure quantique, comme l'a souligné Schrödinger, l'état du chat (mort ou vif) serait intriqué avec le résultat du compteur Geiger (un atome s'est désintégré ou non) jusqu'à ce que la boîte soit ouverte. Par conséquent, le chat se trouverait dans une superposition quantique «zombiesque» à la fois mort et vivant jusqu'à ce que le minuteur arrive à son terme, que le chercheur ouvre la boîte et que l'état quantique du chat et du compteur se réduise à l'une des deux alternatives.

De la fin des années 1930 au début des années 1960, on faisait rarement allusion à l'expérience de pensée, hormis parfois anecdotiquement lors d'un cours. Par exemple, T. D. Lee, professeur à l'université Columbia et lauréat du prix Nobel, aurait relaté cette histoire à ses étudiants afin de souligner l'étrange nature de l'effondrement quantique³. En 1963, Eugene Wigner, physicien à Princeton, mentionna cette expérience de pensée dans une pièce qu'il écrit au sujet de la mesure quantique et l'extrapola à ce que l'on appelle désormais le paradoxe de «l'ami de Wigner».

L'illustre philosophe de Harvard Hilary Putnam – qui eut connaissance de l'énigme par ses collègues physiciens – fut l'un des premiers intellectuels en dehors du cercle des physiciens à analyser et discuter de l'expérience de pensée de Schrödinger⁴. Il décrit ses implications dans son célèbre article de 1965 «Considérations d'un philosophe sur la mécanique quantique», publié comme chapitre d'un livre. Lorsque l'article fut cité la même année dans une critique de *Scientific American*, l'expression «chat de Schrödinger» fut introduite au grand public. Durant les décennies qui suivirent, elle s'imposa culturellement comme un symbole d'ambiguïté et fut mentionnée dans des romans, des essais et des poèmes.

Malgré la notoriété du paradoxe du chat, le physicien qui l'a développé demeure largement méconnu. Tandis qu'Einstein est considéré comme une icône depuis les années 1920, l'archétype même du scientifique génial, la biographie de Schrödinger est à peine connue. Cette situation est ironique car le qualificatif «de Schrödinger» – qui évoque une existence ambiguë – aurait tout aussi bien pu s'appliquer à lui-même.

Un homme aux multiples contradictions

L'ambivalence du chat de Schrödinger caractérise parfaitement la vie contradictoire de son créateur. Amateur de livres, ce professeur à lunettes entretint une superposition quantique d'opinions contrastées. Son existence en yin-yang commença dès son plus jeune âge avec une éducation bilingue (allemand et anglais). Attaché à de nombreux pays mais dévoué plus particulièrement à son Autriche natale, il ne s'est jamais accommodé du nationalisme ni de l'internationalisme et préférait s'écarter de toute politique.

Féru d'exercice et de grand air, il enfumait ses congénères avec sa pipe omniprésente. Lors des conférences solennelles, il entraînait vêtu comme un routard. Il se disait athée mais parlait de ses motivations spirituelles. À un moment de sa vie, il vivait avec sa femme et une autre compagne qui était la mère de son premier enfant. Son œuvre doctorale est un mélange de physique expérimentale et théorique. Au début de sa carrière, il envisagea un temps de bifurquer vers la philosophie avant de revenir à la science. Survint alors des déplacements tumultueux vers de nombreux instituts d'Autriche, d'Allemagne et de Suisse.

Le physicien Walter Thirring, qui avait eu l'occasion de travailler avec lui, le décrivait ainsi : « c'est comme s'il était constamment poursuivi : d'un problème à l'autre par son génie, d'une nation à l'autre par les pouvoirs politiques du xx^e siècle. Il était un homme empreint de contradictions⁵ ».

À une certaine époque, il soutenait avec véhémence que la causalité devait être rejetée au profit du pur hasard. Des années plus tard, après avoir développé son équation déterministe, dite de Schrödinger, il hésita. Peut-être existe-t-il des lois causales après tout, avouait-il. Le physicien Max Born réinterpréta alors son équation d'une manière probabiliste, et après avoir combattu cette nouvelle explication, Schrödinger commença à pencher à nouveau en faveur du hasard. Des années après, sa girouette philosophique pointa une nouvelle fois en direction de la causalité.

En 1933, Schrödinger démissionna héroïquement d'un poste confortable à Berlin à cause des Nazis. Il fut le physicien non juif le plus influent à s'exiler de son propre chef. Après avoir travaillé à Oxford, il décida de revenir en Autriche et devint professeur à l'université de

Graz. Mais alors, de façon assez surprenante, suite à l'annexion de l'Autriche par l'Allemagne nazie, il tenta de négocier une entente avec le gouvernement afin de conserver son emploi. Dans une confession qu'il publia, il s'excusa pour son opposition antérieure et proclama sa fidélité au pouvoir occupant. En dépit de cela, il dut quitter l'Autriche, et déménager pour un poste important à l'Institut d'études avancées de Dublin, nouvellement fondé. Une fois en terrain neutre, il abjura son autorenoncement.

« Il a fait preuve d'un courage civique exemplaire après qu'Hitler soit parvenu au pouvoir en Allemagne et [...] a abandonné la plus importante chaire allemande du professorat de physique », remarqua Thirring. « Lorsque les Nazis l'ont rattrapé, il fut contraint d'afficher une solidarité pathétique envers le régime de terreur⁶. »

Camarades quantiques

Einstein, qui avait été un collègue et un ami très cher à Berlin, fit preuve de loyauté vis-à-vis de Schrödinger et fut ravi de correspondre avec lui sur leurs sujets d'intérêt commun en physique et philosophie. Ensemble, ils pourchassaient le même ennemi : le hasard pur, antonyme d'ordre naturel.

Bercés notamment par les écrits de Spinoza, de Schopenhauer – pour qui le principe unificateur était incarné par la force de la Volonté, reliant entre elles toutes les choses de la nature – Einstein et Schrödinger partageaient une aversion pour les ambiguïtés et la subjectivité dans toute description fondamentale de l'Univers. Bien qu'ils jouèrent chacun un rôle central dans la gestation de la mécanique quantique, ils étaient tous deux convaincus que la théorie était incomplète. Reconnaisant malgré tout ses succès expérimentaux, ils étaient persuadés que des travaux théoriques plus approfondis révéleraient une réalité objective et atemporelle.

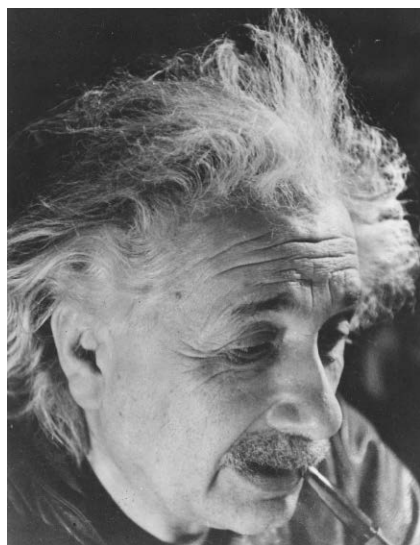
Leur alliance fut scellée par la réinterprétation de Born de l'équation d'onde de Schrödinger. Telle qu'elle était pensée à l'origine, l'équation de Schrödinger était conçue pour modéliser le comportement continu d'ondes matérielles tangibles assimilable au comportement des électrons au sein et en dehors des atomes. À l'instar de Maxwell qui avait

concocté des équations déterministes décrivant la lumière comme des ondes électromagnétiques voyageant dans l'espace, Schrödinger cherchait à produire une équation qui rendrait compte du flux permanent d'ondes matérielles. Il espérait par conséquent offrir une vision exhaustive des propriétés physiques des électrons.

Born fit voler en éclats l'exactitude de la description de Schrödinger, remplaçant les ondes de matière par des ondes de probabilité. Au lieu de propriétés physiques directement quantifiables, il fallait les calculer par le truchement de manipulations mathématiques sur les ondes de probabilité. Ce faisant, il mit l'équation de Schrödinger en adéquation avec les idées de Heisenberg au sujet de l'indétermination. Selon Heisenberg, certaines quantités physiques liées, telles que la position et la quantité de mouvement (la masse multipliée par la vitesse), ne peuvent être mesurées simultanément avec une précision élevée. Il encoda ce flou quantique dans son célèbre principe d'incertitude : plus un chercheur mesure avec précision la position d'une particule, moins il peut connaître précisément sa quantité de mouvement – et vice versa.

Désireux de modéliser la matière même des électrons et des autres particules, et non simplement leurs probabilités, Schrödinger critiqua l'aspect intangible de l'approche de Heisenberg et Born. Il rejeta de la même façon la philosophie quantique de Bohr, baptisée « complémentarité », dans laquelle les propriétés ondulatoires ou corpusculaires se manifestent selon le dispositif de mesure choisit par l'expérimentateur. La nature doit être visualisable, rétorquait-il, et non ressembler à une boîte noire insondable aux rouages occultes.

À mesure que les idées de Born, Heisenberg et Bohr s'imposaient auprès de la communauté des physiciens, s'alliant pour former ce qui devint « l'interprétation de Copenhague » ou la vision quantique orthodoxe, Einstein et Schrödinger devinrent des alliés naturels. Vers la fin de leur vie, chacun aspirait à lever le voile sur une théorie du champ unifié qui comblerait les lacunes de la physique quantique et unifierait les forces de la nature. En extrapolant la relativité générale de façon à inclure toutes les forces naturelles, une telle théorie remplacerait la matière par de la géométrie pure – assouvissant ainsi le rêve des pythagoriciens qui croyaient dur comme fer que « tout est nombre ».



Portrait d'Albert Einstein vers la fin de sa vie.

Avec l'aimable autorisation de l'université du New Hampshire, de la collection Lotte Jacobi et des archives visuelles AIP Emilio Segre, gracieusement fourni par Gerald Holton.

Schrödinger avait de bonnes raisons d'être redevable à Einstein. Un discours de ce dernier prononcé en 1913 ralluma son intérêt pour les questions fondamentales de la physique. Un article d'Einstein publié en 1925 mentionnait le concept d'ondes de matière du physicien français Louis de Broglie. Cela stimula le développement par Schrödinger de son équation décrivant le comportement de ces ondes. Ce travail lui permit de décrocher le prix Nobel, pour lequel il avait été nommé, entre autres, par Einstein. Ce dernier soutint sa candidature au poste de professeur à l'université de Berlin et comme membre de la prestigieuse Académie royale des sciences de Prusse. Il invita chaleureusement Schrödinger dans sa résidence estivale à Caputh et continua de lui prodiguer des conseils dans leur abondante correspondance. L'expérience de pensée EPR (Einstein Podolsky Rosen), développée par Einstein et ses assistants Boris Podolsky et Nathan Rosen, qui illustre les facettes obscures de l'intrication quantique, associée à un paradoxe quantique mettant en jeu de

la poudre à canon suggéré par Einstein, inspira à Schrödinger l'énigme du chat. Enfin, les idées développées par Schrödinger dans sa quête de l'unification n'étaient que des variantes de propositions d'Einstein. Les deux théoriciens s'interrogeaient souvent sur les manières de remodeler la relativité générale afin de la rendre mathématiquement assez flexible pour englober d'autres forces que la gravité.

Portrait d'un fiasco

L'Institut d'études avancées de Dublin, où Schrödinger dirigea l'école de physique dans les années 1940 et au début des années 1950, était directement calqué sur l'Institut d'études avancées de Princeton, où Einstein avait joué le même rôle depuis le milieu des années 1930. La presse irlandaise comparait souvent les deux hommes, considérant Schrödinger comme l'équivalent d'Einstein sur l'île d'émeraude.



Erwin Schrödinger, au milieu de sa vie, se reposant au grand air.

Photo de Wolfgang Pfaundler, Innsbruck, Autriche, avec l'aimable autorisation des archives visuelles AIP Emilio Segre.

Schrödinger ne manquait jamais une occasion de mentionner son accointance avec Einstein, allant même jusqu'à dévoiler le contenu de certaines de leurs correspondances privées lorsque le propos s'y prêtait. Ce fut le cas, en 1943, après qu'Einstein avoua personnellement à Schrödinger qu'un certain modèle d'unification avait été «le tombeau de ses espoirs» dans les années 1920, ce dernier exploita cette déclaration de façon à donner l'impression qu'il avait réussi là où Einstein avait échoué. Il lut publiquement la lettre devant l'Académie royale d'Irlande, se vantant d'avoir «exhumé» les espoirs d'Einstein grâce à ses calculs. La conférence fut rapportée dans l'*Irish Times*, qui couronna l'article avec le titre fallacieux «Hommage d'Einstein à Schrödinger⁷».

Au premier abord, Einstein choisit courtoisement de fermer les yeux sur l'arrogance de Schrödinger. Cependant, la réaction de la presse suite à un discours que ce dernier prononça en janvier 1947, proclamant sa victoire dans la bataille d'une théorie du Tout, fit déborder le vase. La déclaration effrontée de Schrödinger soutenant qu'il était parvenu au but qui se dérobait à Einstein depuis des décennies (grâce au développement d'une théorie qui surpassait la relativité générale) fut un camouflet pour Einstein, que la presse attisa dans l'espoir de susciter sa réaction.

Celle-ci ne se fit pas attendre. La riposte ironique d'Einstein reflétait son profond désaccord avec les revendications excessives de Schrödinger. Dans son propre communiqué de presse, traduit en anglais par son assistant Ernst Straus, il répondait en ces termes : « La dernière tentative du professeur Schrödinger [...] ne peut [...] être jugée que sur la base de ses qualités mathématiques, mais non du point de vue de la "vérité" et de l'accord avec la réalité expérimentale. Et même sous cet angle, elle ne peut en tirer aucun avantage particulier – sinon que le contraire⁸ ».

La querelle fut relayée par les journaux tels que l'*Irish Press*, qui ont mis en exergue la critique d'Einstein stipulant qu'il est «inconvenable [...] d'exposer de telles tentatives préliminaires au public. La situation est même pire lorsque l'on donne l'impression d'avoir affaire à une découverte décisive au sujet de la réalité physique⁹».

L'humoriste Brian O'Nolan, rédacteur pour l'*Irish Times*, ridiculisa la réponse d'Einstein, la qualifiant au fond d'arrogante et déplacée. « Que

sait Einstein de l'emploi et de la signification des mots?» écrivit-il. « Peu de chose, à vrai dire. [...] Par exemple, qu'entend-il par les termes tels que "vérité" et "réalité expérimentale"? Son offensive pour sensibiliser sur leur propre terrain les lecteurs sagaces n'impressionne guère¹⁰. »

Ces deux amis de longue date, unis contre l'interprétation orthodoxe de la mécanique quantique, n'avaient jamais anticipé cet affrontement via la presse internationale. Ce n'était certainement pas leur intention lorsqu'ils commencèrent leur correspondance au sujet de la théorie du champ unifié, quelques années auparavant. Néanmoins, la déclaration téméraire de Schrödinger devant l'Académie royale d'Irlande s'avéra irrésistible pour les journalistes avides d'anecdotes au sujet d'Einstein.

L'une des raisons de cette escarmouche venait de la nécessité pour Schrödinger de faire plaisir à son hôte, le *taoiseach* (premier ministre irlandais) Éamon de Valera, qui avait personnellement arrangé son déménagement pour Dublin et son poste à l'Institut. De Valera manifestait un vif intérêt pour les travaux de Schrödinger, espérant qu'il apporterait de la gloire à la république irlandaise fraîchement indépendante. Lorsqu'il était enseignant en mathématiques, de Valera était un aficionado du mathématicien irlandais William Rowan Hamilton. En 1943, il annonça que le centenaire de l'une des découvertes de Hamilton, une famille de nombres que l'on appelle les quaternions, serait célébré dans toute l'Irlande. La majeure partie des travaux de Schrödinger tirait justement parti des méthodes de Hamilton. Quoi de mieux pour honorer l'Irlande libre et son illustre savant, Hamilton, que de lui apporter une nouvelle notoriété et d'en faire la nation où la relativité d'Einstein serait détrônée et remplacée par une théorie plus générale? Les déclarations exagérées de Schrödinger convenaient parfaitement aux desiderata de son mécène. L'*Irish Press*, sous la houlette de son propriétaire de Valera, s'attachait à faire savoir au reste du monde que le pays de Hamilton, Yeats, Joyce et Shaw pouvait également produire une « théorie du Tout ».

La manière dont Schrödinger abordait la science (et en vérité la vie) était impulsive. Considérant que ses résultats étaient prometteurs, il voulait les claironner au monde, ne réalisant pas avant qu'il ne soit trop tard qu'il était en train d'humilier l'un de ses plus chers amis et

mentors. Il considéra sa découverte – un procédé mathématique soi-disant simple pour encapsuler l'ensemble des lois naturelles – comme une sorte de révélation divine. Par conséquent, il était impatient de divulguer ce qu'il considérait être une vérité fondamentale dont il était le seul témoin.

Il va sans dire que Schrödinger ne parvint nullement à développer une théorie du Tout, comme l'avait judicieusement fait remarquer Einstein. Il mit simplement la main sur l'une des nombreuses variantes mathématiques de la relativité générale qui laisse techniquement de la place à d'autres forces. Cependant, tant que des solutions à cette variante, coïncidant avec la réalité physique, n'étaient pas trouvées, celle-ci ne représentait qu'un exercice abstrait plutôt qu'une véritable description de la nature. Bien qu'il existe une multitude de manières d'extrapoler la relativité générale, nous n'en avons identifié aucune jusqu'à présent qui concorde avec le comportement réel des particules élémentaires, compte tenu de leurs propriétés quantiques.

Dans le domaine médiatique, toutefois, Einstein ne se contentait pas d'être un innocent spectateur. Il proposait régulièrement un modèle d'unification de son cru et en surestimait l'importance à la presse. Par exemple, en 1929, il annonça pompeusement avoir découvert une théorie qui unifiait les forces de la nature et surclassait la relativité générale. Du fait qu'il n'avait pas trouvé (et ne pouvait trouver) de solutions physiquement réalistes à ses équations, son annonce fut extrêmement prématurée. Quoi qu'il en soit, il accusait Schrödinger essentiellement du même tort.

La femme de Schrödinger, Anny, révéla plus tard au physicien Peter Freund qu'ils envisageaient tous deux d'intenter un procès à l'autre pour plagiat. Le physicien Wolfgang Pauli, qui les connaissait très bien, les mit en garde contre les conséquences possibles d'un recours à la justice. Un procès déballé dans les journaux serait fort embarrassant, leur avisa-t-il. Tout cela dégénérerait rapidement dans le ridicule et salirait leur réputation. Leur acrimonie était telle que Schrödinger dit une fois au physicien John Moffat, qui visitait Dublin, « ma méthode est bien supérieure à celle d'Albert! Laissez-moi vous expliquer, Moffat, qu'Albert est un vieil imbécile¹¹ ».

Freund médita sur les raisons qui poussaient deux physiciens vieillissants à rechercher une théorie du Tout. « Nous pouvons répondre à cette interrogation de deux manières », dit-il. « Premièrement, c'est un acte grandiose et ultime [...] après avoir eu beaucoup de succès en physique. À mesure qu'ils prennent conscience du déclin de leurs facultés, ils décident d'affronter le plus grand des problèmes : trouver l'ultime théorie qui *parachèverait* la physique. [...] En second lieu, il est probable que ces hommes soient portés par la même curiosité insatiable qui leur avait apporté jadis la gloire. Ils veulent connaître la solution du problème qui a tarauté leur esprit tout au long de leur vie : ils veulent entrevoir la Terre promise de leur vivant¹². »

Unité écorchée

De nombreux physiciens se sont focalisés durant toute leur carrière sur des questions très spécifiques quant à tel ou tel aspect du monde naturel. Ils voient les arbres, mais non la forêt. Einstein et Schrödinger partageaient des aspirations beaucoup plus vastes. Par leurs lectures philosophiques, ils étaient convaincus que la nature a été construite par un grand architecte. Leurs périples au cours de leur jeunesse les avaient conduits à des découvertes significatives – dont la théorie de la relativité d'Einstein et l'équation d'onde de Schrödinger – qui révélaient une partie de la réponse. Stimulés par cette fresque partielle, ils caressaient le rêve d'achever la mission de leur vie en découvrant une théorie qui expliquerait tout.

Néanmoins, comme c'est souvent le cas dans le sectarisme religieux, même des divergences mineures de conception peuvent engendrer des conflits majeurs. Schrödinger a brûlé les étapes car il pensait avoir miraculeusement découvert un indice qui avait échappé à Einstein. Cette soudaine révélation, combinée aux obligations de résultat qu'il subissait du fait de sa position académique, déclenchèrent un besoin impulsif d'aller de l'avant, avant même d'avoir recueilli suffisamment de preuves pour asseoir sa théorie.

Leur querelle laissa des blessures. De ce point de vue, leur rêve d'unité cosmique était teinté de conflit personnel. Ils gâchèrent ainsi la perspective de passer leurs dernières années dans un dialogue amical,

d'évoquer avec passion les éventuels rouages mécaniques de l'Univers. Ayant attendu des milliards d'années l'explication complète de son fonctionnement, le cosmos demeurerait patient, mais deux grands génies avaient manqué de peu cette éphémère opportunité.

L'UNIVERS MÉCANIQUE

*« Ces faits provisoires,
 Ces impressions furtives,
 Doivent être transformés par des actes mentaux
 En possessions permanentes.
 Rassemblez alors votre entendement jusqu'à la dernière parcelle,
 Toute votre imagination scientifique,
 Jusqu'à ce que les visions et les sons combinés à la réflexion
 Se muent en une vérité prolifique. »*

James Clerk Maxwell, extrait de *To the Chief Musician upon Nabla:
 A Tyndallic Ode*

Avant l'avènement de la relativité et de la mécanique quantique, les deux plus grands unificateurs de la physique furent Isaac Newton et James Clerk Maxwell. Les lois de la mécanique de Newton ont montré que les divers mouvements des objets sont gouvernés par leurs interactions avec d'autres objets. Sa loi de la gravitation codifiait l'une de ces interactions : la force imposant aux corps célestes, tels que les planètes, de suivre des trajectoires particulières, telles que des orbites elliptiques. Il démontra avec brio comment des phénomènes de toutes sortes sur Terre – la course d'une flèche, par exemple – trouvaient leur justification dans un tableau universel.

La physique newtonienne est parfaitement déterministe. Si, à un instant particulier, vous connaissiez les positions et les vitesses de chaque objet de l'Univers, et toutes les forces impliquées, vous pourriez

théoriquement prédire de manière exhaustive leurs comportements ultérieurs. Inspirés par la toute-puissance des lois de Newton, de nombreux savants du XIX^e siècle étaient persuadés que seules des limitations d'ordre pratique, telles que l'effroyable défi de réunir des quantités colossales d'informations, empêcheraient les scientifiques de tout prévoir de manière parfaite.

Le hasard, du point de vue strictement déterministe, est un artéfact des situations complexes mettant en jeu un nombre considérable de composantes et un mélange de facteurs environnementaux distincts. Considérez, par exemple, le «hasard» subtil du jeu à pile ou face. Si un scientifique pouvait inventorier méticuleusement tous les courants d'air affectant la pièce et s'il connaissait la vitesse et l'angle exacts du lancer, il serait en principe capable de prédire sa rotation et sa trajectoire. Certains déterministes zélés iraient même jusqu'à affirmer que si nous avons assez d'informations au sujet du vécu et des expériences antérieures de l'individu jetant la pièce, nous pourrions également prédire ses pensées. Dans ce cas, un chercheur pourrait anticiper les réactions cérébrales, les impulsions nerveuses et les contractions musculaires qui déclenchent le lancer, rendant le résultat encore plus prévisible. En bref, les partisans de l'idée que l'Univers tout entier est réglé comme un mécanisme d'horloge parfait négligent le fait que tout est fondamentalement aléatoire.

En vérité, aux échelles astronomiques telles que la région du Système solaire, les lois de Newton sont remarquablement exactes. Elles reproduisent avec merveille les lois de l'astronome allemand Johannes Kepler, qui décrivent comment les planètes gravitent autour du Soleil. Notre aptitude à anticiper les événements célestes, tels que les éclipses de soleil et la conjonction des planètes, et à propulser des fusées avec précision vers des cibles distantes témoigne de la prédictibilité infaillible de la mécanique de Newton, particulièrement lorsqu'on l'applique à la gravitation.

L'unité s'est manifestée dans les équations de Maxwell sous la forme d'une autre force naturelle: l'électromagnétisme. Avant le XIX^e siècle, la science considérait l'électricité et le magnétisme comme des phénomènes distincts. Or des travaux expérimentaux, notamment ceux du physicien britannique Michael Faraday, ont montré une connexion profonde entre