

RESEARCH OUTPUTS / RÉSULTATS DE RECHERCHE

Ontologie et physique quantique chez Schrödinger

van Helden, Alice

Publication date:
2016

Document Version
le PDF de l'éditeur

[Link to publication](#)

Citation for published version (HARVARD):

van Helden, A 2016, 'Ontologie et physique quantique chez Schrödinger: un retour au continu', Master, Aix Marseille Université.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Mémoire présenté pour obtenir le grade de Master

Aix-Marseille Université



UFR Arts, Lettres, Langues et Sciences Humaines

Discipline : Philosophie et histoire des sciences fondamentales :
mathématiques et physique

Ontologie et physique quantique chez Schrödinger : un retour au continu

PAR : ALICE VAN HELDEN

Sous la direction de MICHEL BITBOL ET THIERRY MASSON,

MEMBRES DU JURY:

Examineur : Gabriella CROCCO

Encadrant : Michel BITBOL

Encadrant : Thierry MASSON

Date de soutenance : 12 juin 2016

SOMMAIRE

Introduction	iii
1 Ontologie générale	1
2 De la conscience	11
3 De l'identité	25
4 Théorie de la connaissance	39
5 Quant à la querelle quantique	51
6 Conclusion	71
Index	81
	85

INTRODUCTION

Erwin Schrödinger est un physicien autrichien du XX^e siècle, qui a vu naître l'une des grandes théories de la physique contemporaine : la mécanique quantique. Il a participé de façon constante à son élaboration, proposant des résultats innovants dont certains seront reconnus par tous et le rendront célèbre (dont l'équation qui porte son nom), et d'autres s'intégreront à de grosses controverses.

La naissance de cette théorie a été en effet tumultueuse, agitée par des écoles de pensée opposées comme par des vents contraires. Du point de vue formel, le résultat en a été un formalisme hybride de mécanique ondulatoire et matricielle. Du point de vue ontologique, une interprétation a fini par s'imposer dans la plus grande partie du milieu et dans l'enseignement : l'interprétation dite « de Copenhague ». Celle-ci est encore aujourd'hui l'interprétation dominante ; à l'époque elle comptait parmi ses représentants Niels Bohr, Max Born, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Paul Dirac et Pasqual Jordan. Les interprétations alternatives étaient plutôt désuées. On y trouvait quelques réalistes comme Paul Ehrenfest et Louis de Broglie, pour lesquels il existe un monde objectif et indépendant de nous que l'on peut connaître par la science, des points de vue intermédiaires comme celui d'Albert Einstein, ou des regards radicalement différents comme celui de Schrödinger. Tous ces points de vue étaient pourtant confondus par l'école de Copenhague, qui y voyait simplement un refus du progrès. Cette école elle-même n'était pas tout à fait unie : composée d'idéalistes, de positivistes ou d'indifférents, tous s'accordaient néanmoins sur une approche purement pragmatique de la théorie, dépouillée du plus d'éléments d'ontologie possible. La forme d'idéalisme la plus répandue parmi les physiciens et les mathématiciens, à laquelle on se réfère ici, est un idéalisme mathématique, qui considère que tout ce qui existe vraiment, ce sont les valeurs exprimées par le formalisme mathématique. Le positivisme mentionné ici étend à l'ontologie de la physique quantique les principes du positivisme d'Auguste Comte, qui se situent eux dans un cadre épistémologique :

La logique spéculative avait jusqu'alors consisté à raisonner, d'une manière plus ou moins sub-

tile, d'après des principes confus, qui, ne comportant aucune preuve suffisante, suscitaient toujours des débats sans issue. Elle reconnaît désormais, comme règle fondamentale que toute proposition qui n'est pas strictement réductible à la simple énonciation d'un fait, ou particulier ou général, ne peut offrir aucun sens réel et intelligible. Les principes qu'elle emploie ne sont plus eux-mêmes que de véritables faits, seulement plus généraux et plus abstraits que ceux dont ils doivent former le lien. (...) En un mot, la révolution fondamentale (...) consiste essentiellement à substituer partout, à l'inaccessible détermination des causes proprement dites, la simple recherche des lois, c'est-à-dire des relations constantes qui existent entre les phénomènes observés. (...) Pour caractériser suffisamment [la] nature nécessairement relative de toutes nos connaissances réelles, il importe de sentir, en outre, du point de vue le plus philosophique, que, si nos conceptions quelconques doivent être considérées elles-mêmes comme autant de phénomènes humains, de tels phénomènes ne sont pas simplement individuels, mais aussi et surtout sociaux. (...) Ainsi, le véritable esprit positif consiste surtout à voir Pour Prévoir, à étudier ce qui est afin d'en conclure ce qui sera, d'après le dogme général de l'invariabilité des lois naturelles¹.

Tous ces physiciens ont très mal compris Schrödinger et ses exigences de représentation ou de compréhensibilité de la théorie. Pour eux, il était un réaliste « comme les autres » et cette étiquette lui colle encore à la peau aujourd'hui². Le reproche de conservatisme convenait déjà très mal aux autres opposants à l'interprétation de Copenhague, mais peut-être encore plus à Schrödinger, qui évoluait entièrement hors des sentiers battus par les physiciens dans le domaine de la philosophie des sciences. Moi-même, en choisissant ce sujet, ne me doutais absolument pas du point de vue très personnel, voire excentrique, que je découvrirais dans ses écrits. Pour cette raison, le sujet de ce mémoire, qui devait porter à l'origine sur la critique adressée par Schrödinger à l'école de Copenhague sur certains éléments de la théorie quantique, s'est quelque peu décentré vers une étude plus générale des écrits philosophiques de Schrödinger. J'aimerais exposer de façon claire l'ensemble de la pensée de Schrödinger, qui m'a paru difficile à comprendre, non pas en raison de son expression, car son écriture est très agréable et très imagée, mais du fait de ce fonctionnement très éloigné de ce qu'on rencontre habituellement chez les physiciens ou dans l'attitude naturelle. J'exposerai d'abord son ontologie, en m'attardant sur sa conception de la conscience, puis sur un thème de la première importance qui rattache son ontologie à certaines questions centrales de la physique quantique : celui de l'identité des corps. Je présenterai ensuite les éléments de théorie de la connaissance que l'on trouve dans ses écrits, et enfin j'examinerai les arguments qu'il oppose à l'interprétation de Copenhague. Il sera alors possible de constater, parmi ces arguments, si certains sont indissociablement liés à son ontologie particulière ou relèvent d'un manque de connaissance relatif à l'époque, et les-

1. A. COMTE, *Discours sur l'esprit positif*, 1842, première partie

2. F. SELLERI, *Le grand débat de la théorie quantique*, Paris : Flammarion, 1986, , entre autres.

quels peuvent être considérés comme un apport dans le débat actuel concernant l'interprétation de la mécanique quantique.

Avant toute chose, cependant, il est utile de retracer un bref historique des événements marquants de la vie de Schrödinger³. Né le 12 août 1887, fils unique, il reçoit un enseignement à domicile par un instituteur qui vient le voir deux fois par semaine. Il commence très tôt l'apprentissage de l'anglais, ce qui lui permettra de rédiger certaines de ses œuvres dans cette langue sans difficulté. Il réalise ses études secondaires au prestigieux Gymnasium académique de Vienne en réussissant brillamment dans toutes les matières enseignées. Sa préférence réside pourtant dans les mathématiques et la physique, ainsi que dans les langues anciennes, qui sont également des « disciplines de logique rigoureuse opposées à celles qui demandent une mémorisation mécanique »⁴. En 1906, il entre à l'université de Vienne où ses professeurs, successeurs de Boltzmann, lui transmettent son influence : « Elle le conduisit à adopter le raisonnement statistique comme paradigme de la théorie physique bien avant la création de la mécanique quantique sous sa forme moderne, mais aussi à y associer le goût des modèles mécaniques clairs et rigoureux »⁵. Il subit également l'influence philosophique de Mach alors dominante dans la culture autrichienne et assiste régulièrement à des cours de philosophie portant sur Spinoza et plusieurs penseurs de l'Antiquité. En 1911, il est recruté comme assistant de physique expérimentale et c'est dans ce cadre qu'il rencontre sa future femme, Anne-Marie Bertel, qu'il épousera en 1920. Il prend part à la première Guerre Mondiale en tant qu'officier d'artillerie et comble son désœuvrement en étudiant des théories physiques (notamment la relativité générale d'Einstein achevée en 1916) puis des doctrines philosophiques (notamment les philosophies indiennes qu'il analyse en grand détail en les confrontant à certains philosophes occidentaux : Spinoza, Hume, Kant, Schopenhauer, Kirchoff et Mach, et à certains concepts du biologiste R.W. Semon). Il apprécie particulièrement Schopenhauer, qu'il qualifie de « plus grand savant de l'Occident »⁶. Il reconnaît en lui son propre intérêt pour les philosophies de l'Inde et acquiert grâce à lui une connaissance plus profonde des Upanishads. C'est durant l'année 1918 qu'il

3. Cet historique est inspiré de *L'élision*, essai introductif de Michel Bitbol au livre de Schrödinger : E. SCHRÖDINGER, *Mind and Matter*, Cambridge University Press, 1958 traduit de l'anglais dans E. SCHRÖDINGER, *L'Esprit et la Matière*, sous la dir. de M. BITBOL, Points-Sciences, Paris : Seuil, 2016, pp. 29-45

4. *ibid.*, p. 31

5. *ibid.*, p. 32

6. Cité dans J. MEHRA et H. RECHERBERG, « The Historical Development of Quantum Theory », in : 5 (1987), p. 408, et repris dans SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 36

fonde sa conception ontologique.

Après une période de difficultés émotionnelles (suite à la mort de ses parents) et financières, il se voit offrir la chaire de physique de Zürich en 1921. En 1925, il lit la thèse de Louis de Broglie, dans la lignée théorique duquel il se placera pour écrire son premier article présentant une théorie ondulatoire non relativiste de l'électron, en 1926, dont est tirée la célèbre « équation de Schrödinger ». Durant quelques mois, une rivalité oppose sa théorie à la mécanique matricielle de Heisenberg, jusqu'à ce que Schrödinger démontre leur équivalence mathématique. La rivalité se maintient toutefois à propos de l'interprétation de ces théories, avec l'ensemble de l'école de Copenhague dont l'influence s'établit définitivement à cette époque (notamment à la suite de la publication du principe d'incertitude d'Heisenberg en 1927).

Schrödinger passe ensuite six ans à Berlin, qui voient venir la montée de l'antisémitisme. Se sentant menacé pour ses opinions politiques humanistes, Schrödinger quitte l'Allemagne et s'installe à Oxford en compagnie de sa femme en novembre 1933. C'est à cette époque qu'il reçoit le prix Nobel pour ses travaux de physique, et qu'il écrit son célèbre article sur le paradoxe « du chat ». En 1936, pourtant, il rentre en Autriche malgré les avertissements de ses amis, et en 1938 il est placé sous surveillance avec interdiction de quitter le territoire. Il parvient toutefois à quitter l'Autriche en passant par l'Italie et l'Irlande, entre autres, avant de s'établir à Dublin en 1939, où il poursuit ses travaux de physique et de philosophie des sciences. Il est notamment inspiré dans ce dernier domaine par l'obligation de donner régulièrement des conférences publiques. Ses derniers travaux de physique sont des tentatives de concilier la gravitation et la mécanique quantique en une théorie des champs unifiée, mais il cesse progressivement cette activité pour se consacrer uniquement à la philosophie dans les dernières années de sa vie. En 1961, il meurt à Vienne où il était retourné s'établir depuis 1956.

ONTOLOGIE GÉNÉRALE

1.1 Principes de l'ontologie schrödingerienne

L'ontologie de Schrödinger est principalement exposée dans l'essai *Ma conception du monde*, qui rassemble deux articles : *La quête du chemin*, daté de 1925 et *What is real?*, écrit bien plus tard en 1960. Ces deux articles sont pourtant dans la continuité parfaite l'un de l'autre, ce qui montre la constance de la pensée de Schrödinger, à l'opposé de certaines interprétations de versatilité de l'opinion du physicien, de revirements apparents à propos du statut de la fonction d'onde, de l'interprétation de Copenhague, etc¹.

Schrödinger introduit son cheminement de pensée par un constat : celui d'une inadéquation entre le monde physique décrit par la science et celui que nous ressentons par l'intermédiaire de nos sens. Par exemple, la sensation d'une couleur semble totalement absente du monde au sens où l'on ne pourrait la retrouver ni dans les corps observés (qui se contentent d'émettre certaines longueurs d'onde, lesquelles n'ont même pas une correspondance biunivoque avec la palette des couleurs que nous voyons), ni dans les neurones de notre cerveau : certes, on peut y constater la transmission de l'excitation produite par la perception du signal lumineux, mais où situer la sensation du jaune ? Savoir comment l'activer ne résout en rien la question de sa nature. Ainsi donc, notre perception semble totalement détachée du monde et indescriptible par la science, mais ce détachement est-il vraiment le reflet d'une séparation insurmontable entre notre conscience et le reste du monde ? Ou est-elle plutôt le résultat de notre propre démarche dans ce que nous avons instauré comme la science ? Cette dernière proposition est celle de Schrödinger, qui soumet l'idée que nous avons, en voulant obtenir une description objective du monde, divisé celui-ci en lui retirant toutes nos

1. Référence à cette erreur commune : M. BITBOL, *Schrodinger's Philosophy of Quantum Mechanics*, Paris : Kluwer Academic Publishing, 1996, p. 40

sensations, qui en faisaient pourtant partie. Ensuite, retournant vers nous-mêmes cette démarche scientifique que nous avons créée pour tenter d'analyser ces sensations, nous nous étonnons de ne pas y arriver, alors que nous les avons bannies nous-mêmes dès le départ. En situant la conscience à l'intérieur de la boîte crânienne, nous avons exécuté une réintégration de nous-mêmes dans notre corps, mais en tant qu'observateurs non concernés². Voilà pourquoi les phénomènes mentaux nous semblent incompréhensibles. Et c'est également pour cette raison que le monde décrit par la physique apparaît froid, incolore et impersonnel. Il fait également ce reproche à la chose en soi de Kant, dont la vacuité et la froideur ne sont que la conséquence du retrait de notre perception³.

Schrödinger pose donc ceci : les sensations et les pensées ont la même valeur de réalité que celle que nous attribuons aux choses du monde. Mais alors il n'est même plus nécessaire de supposer l'existence de choses du monde, puisque celles-ci sont déjà présentes pour une part dans nos sensations (notre perception des objets matériels et de certaines de leurs relations comme leurs mouvements relatifs) et pour l'autre part dans notre pensée (pour tout ce qui concerne les relations déduites après observation, comme la cause et l'effet, ou abstraites comme la géométrie). Il considère donc comme redondante la supposition de l'existence d'un monde objectif et indépendant de la conscience⁴.

La suite de son raisonnement est la suivante : il admet l'existence de sphères de conscience indépendantes de la sienne, qu'il prouve par le langage. En effet, les autres consciences ont des réactions imprévisibles, incontrôlables; elles sont donc différentes des autres objets du monde⁵. Cependant, elles présentent dans leur perception de nombreux éléments communs : elles réagissent par exemple de façon identique à un obstacle matériel, alors que cet obstacle n'a aucune raison d'être construit par elles de la même façon dans la perception. Comment expliquer ce caractère commun de la subjectivité : cette intersubjectivité?

Schrödinger admet deux explications cohérentes : soit faire l'hypothèse du monde extérieur objectif (qui n'est plus redondant dans ce cas puisqu'il a pour rôle de rendre compte de l'intersubjectivité), soit considérer que la séparation entre les sphères de conscience n'est qu'apparente et

2. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 234

3. *ibid.*, p. 247

4. E. SCHRÖDINGER, *Mein Leben, meine Weltansicht*, Kluwer Academic Publishing, 1951 traduit de l'allemand vers l'anglais dans E. SCHRÖDINGER, *My View of the World*, sous la dir. de C. HASTINGS, Cambridge University Press, 1964, p. 64

5. *ibid.*, p. 72

qu'en réalité, toutes les consciences sont des aspects d'un Tout, d'un Esprit unique⁶. Il ajoute que ces deux options ne sont pas incompatibles, qu'on peut les accepter toutes deux en même temps en appelant ce Tout une « Nature-Dieu ». En revanche, il ne précise pas comment s'articulent la Nature et l'Esprit, par exemple si c'est à la manière des Stoïciens (une matière passive activée par le Logos) ou à la manière de Spinoza (Dieu ou la Nature possédant les deux attributs d'étendue et de pensée). Des deux options métaphysiques, celle du monde objectif et celle de l'Esprit unique, il considère qu'aucune ne peut être favorisée par des preuves expérimentales ou logiques, de sorte que chacun est forcé de faire un choix en étant conscient que ce n'est rien de plus qu'un choix. Schrödinger insiste sur le caractère hypothétique et non nécessaire du réalisme ontologique.

Il expose ensuite les avantages et les inconvénients de chacune de ces positions⁷ : l'hypothèse du monde extérieur objectif permet une explication des choses communes beaucoup plus simple ; toutefois, elle présente une certaine dureté et ne fournit aucune éthique par elle-même⁸. En effet, si le caractère partagé du monde entraîne une pseudo-éthique basée sur notre plaisir à communiquer par l'intermédiaire de ce monde, ce n'est qu'une morale utilitariste, donc selon Schrödinger « une attaque puissante et dévastatrice à la moralité »⁹. L'hypothèse de l'Esprit unique, au contraire, fournit de façon évidente une raison de prendre soin des autres et d'éviter de les blesser, puisque soi-même et les autres ne sont que des aspects d'une même entité, qui n'a aucun intérêt à développer des comportements autodestructeurs. Remarquons que, même dans ce cas, il ne s'agit pas d'un véritable altruisme, mais plutôt d'une sorte d'égoïsme d'ensemble. Toujours est-il que Schrödinger voit dans cette option une consolation éthique, et également religieuse, puisqu'il s'agit d'une véritable doctrine spirituelle. On y retrouve l'inspiration de la doctrine védique, qui est à l'origine de l'hindouisme et selon laquelle les phénomènes naturels et mentaux sont la manifestation d'une puissance fondamentale, d'un ordre cosmique : le Veda. Schrödinger mentionne régulièrement cette doctrine comme une source d'inspiration et se sent également en filiation par rapport à Schopenhauer, mais sans faire de référence précise à un aspect particulier de son ontologie (Il n'adopte ni l'opposition entre la chose en soi et le phénomène, ni l'action d'un principe universel sur une nature objective.

6. *ibid.*, p. 106

7. *ibid.*, p. 108

8. D'autre part, la science réaliste ne permet pas encore (comme on l'a dit plus haut) de situer et de comprendre la nature des sensations et de la conscience ; toutefois, la philosophie réaliste, elle, le permet.

9. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 53

L'unique point sur lequel il rejoint clairement Schopenhauer est le fondement de sa morale, à propos de laquelle il précise modestement qu'il ne prétend pas y avoir ajouté quoi que ce soit, tant il a de respect pour cette pensée)¹⁰.

1.2 Quelques précisions

Schrödinger évoque la métaphore d'une « pièce de théâtre devant une salle vide » pour représenter le monde avant l'arrivée d'un être capable de le percevoir et de le comprendre¹¹. Il refuse cette image, dans la mesure où seul l'esprit de l'homme est arrivé dans ce monde après de longs milliards d'années, accompagné de son apparente pluralité. L'Esprit unique, lui, a toujours été là, et d'ailleurs, il est toujours « maintenant », il est hors du temps. En effet, « le monde étendu dans l'espace et le temps n'est que notre représentation »¹²(temps qu'il identifie comme une construction faite à partir de la thermodynamique¹³) et l'Esprit unique n'est donc pas soumis à ces contraintes. Il est la "scène" et le récipiendaire. Il n'est donc bien entendu pas contenu dans les cerveaux, qui ne doivent d'exister qu'à leur avantage évolutif¹⁴ et font partie du monde spatio-temporel, qui est inclus dans les consciences, elles-mêmes incluses dans l'Esprit unique.

Certes l'Esprit unique est pensé par les humains, il figure donc également dans les consciences, mais à la façon d'un artiste qui se figure en tout petit dans un coin de son œuvre : ce n'est que dans le "monde de l'œuvre" qu'il se réduit à cela. Schrödinger reconnaît que ce double rôle a quelque chose d'absurde, mais il attribue ce caractère à notre propre processus de retrait et de réintroduction de l'esprit dans le monde¹⁵.

Dans le cadre de cette hiérarchie de mondes, il condamne les « superstitions matérialistes » (le paradis, l'enfer, etc.) car il ne sert à rien de chercher du divin dans le monde auquel la science a accès, le monde matériel, puisqu'il n'en fait pas partie (du fait même de la constitution de ce monde) : il se situe à une autre échelle¹⁶.

Il lance également un avertissement par rapport à une faiblesse de la doctrine de l'Esprit unique :

10. *ibid.*, p. 58

11. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 261

12. *ibid.*, p. 261

13. *ibid.*, p. 288

14. *ibid.*, p. 263

15. *ibid.*, p. 265

16. *ibid.*, p. 271

celle-ci est trop prête à s'ouvrir à n'importe quelle absurdité. En citant la célèbre phrase de Faust : « Le miracle est l'enfant le plus chéri de la foi », il déplore que, plus la foi est subtile et abstraite, plus l'esprit faible de l'homme la fonde sur des miracles¹⁷.

L'une des raisons pour lesquelles Schrödinger préfère son interprétation à l'hypothèse du monde objectif est que le temps n'y a pas ce « pouvoir dictatorial »¹⁸ sur l'esprit, ce pouvoir à la fois de l'amener à la vie et de le précipiter dans la mort. Puisque le temps est ici construit à l'intérieur de l'esprit, il ne peut prétendre intervenir ni dans sa création ni dans son annihilation. D'autre part, du fait du monisme de sa doctrine, rien ne naît ni ne meurt jamais, tout n'est que transformation. Ceci apporte une grande consolation spirituelle (d'autant que Schrödinger s'éloigne sur ce point¹⁹ de la doctrine védique de la réincarnation en fonction des bonnes ou mauvaises actions de ses vies antérieures, qui justifie notamment l'existence de la classe des Intouchables en Inde).

À l'encontre de toute théorie qui distingue matière et esprit, ou pensée et extérieur, Schrödinger fait remarquer que la relation causale entre le « monde extérieur » et le « monde idéal »²⁰ (c'est-à-dire celui qui est construit à partir des données du premier) ne serait pas la même que la causalité interne au monde idéal. En effet, si on ne ramène pas ces deux modes d'existence à un mode unique, non seulement il n'y a aucune raison pour que les relations de causalité internes soient les mêmes, mais il y a de fortes raisons de penser que si on cherche une relation de causalité entre les deux mondes, celle-ci n'obéira pas du tout aux mêmes lois que les éléments internes aux mondes. Le même type d'argument est détecté par Michel Bitbol dans le dernier chapitre de *Schrödinger's Philosophy of Quantum Mechanics* à propos du parallélisme qu'établit Schrödinger entre le modèle théorique et le modèle Factual de la fonction d'onde²¹. En considérant les mondes comme parallèles, on peut soit penser qu'il n'y a aucune relation entre eux (avec la possibilité qu'ils aient été synchronisés au départ, comme les monades de Leibniz, ou celle qu'ils soient tout simplement désynchronisés), soit qu'il y a une telle relation mais qu'elle nous sera à jamais inconnue (et il se pourrait très bien que le monde idéal soit déformé de manière importante par rapport au monde objectif, à cause d'une influence instable, ou que le lien entre les deux ne soit pas biunivoque). La relation de causalité serait

17. *ibid.*, p. 110

18. *ibid.*, p. 288

19. *idem*, *My View of the World*, p. 104

20. *ibid.*, p. 64

21. BITBOL, *op. cit.*, p. 272

d'un autre type, incompréhensible avec les outils causaux de notre entendement puisque ceux-ci appartiennent à l'un des mondes.

Dans le cadre de sa doctrine, Schrödinger note que le fait de ne pas pouvoir atteindre une connaissance parfaite et immédiate du monde intersubjectif (au croisement des consciences), quoiqu'il soit une construction, découle du fait que le langage ne permet pas une compréhension mutuelle tout à fait certaine et non ambiguë entre les êtres humains. Il illustre cette dernière constatation par l'observation de deux traductions d'un texte chinois, dont on peut à peine croire en les lisant qu'elles sont issues du même texte²².

À première vue, on pourrait se demander pourquoi il accorde dès le départ autant de valeur au langage, en fondant uniquement sur lui la révocation du solipsisme. En effet, l'argument de l'imprévisibilité est un peu faible compte tenu du nombre de phénomènes physiques imprévisibles avec lesquels nous interagissons régulièrement et que nous n'identifions pas comme conscients. Pour mieux analyser ce problème, plaçons-nous à l'intérieur d'une conscience individuelle. En termes husserliens, on peut dire que l'on constate des vécus de dialogue : les vécus successifs de parler et d'entendre, dotés d'une part d'imprédictibilité. En effet, les vécus de parler sont précédés d'une préparation, et l'arrivée des vécus d'entendre ainsi que leur sujet général sont prévisibles, mais la teneur précise de ces vécus ne peut être prédite. Toutefois, on peut faire ce même constat en interagissant avec une machine à sous, par exemple. Les vécus d'insérer une pièce et d'en recevoir en retour se répondent bien de manière partiellement imprévisible. En quoi cette interaction n'est-elle pas un dialogue ? En fait, la différence réside dans l'absence de pertinence de cette interaction. Lors d'un dialogue, c'est la pertinence des vécus d'entendre par rapport à nos vécus de parler qui nous permet de deviner que nous sommes aussi perçus, et qui donne un statut différent aux choses avec lesquelles nous dialoguons de celles avec lesquelles nous ne dialoguons pas.

Pour Schrödinger, qui place la prise de conscience de l'existence d'autres sphères de conscience dans la petite enfance où l'esprit logique n'est pas suffisamment développé pour parler de « pertinence », celle-ci peut sans doute être remplacée par de la cohérence. La répétition de la réception d'un sourire à la suite de l'émission d'un geste de joie, par exemple, reflète une cohérence que n'ont pas les autres objets imprévisibles, sans toutefois que cette répétition entraîne une prédictibilité,

22. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 83

car le reste des actions effectuées par l'interlocuteur qui sourit est imprévisible.

1.3 Objections

Nous pouvons adresser certaines objections à la conception ontologique de Schrödinger. Tout d'abord, pourquoi aurions-nous une fausse impression de découverte si nous n'avions affaire qu'à des choses construites par nous ? Pour quelle raison l'esprit créerait-il cette fausse distinction entre découverte et création ? Cette question en rejoint une autre, celle de la complexité : quel pouvoir incroyable donne-t-on à l'esprit de l'homme en supposant qu'il puisse créer de lui-même toute la complexité du monde ! Là encore, il y a une différence nette de complexité entre les constructions produites à partir de notre imagination et celles que l'on a l'impression de découvrir dans le monde.

Ces questions peuvent être regroupées sous le constat d'une différence entre les actes de perception et de réflexion (au sens de la réflexivité de la conscience positionnelle : prendre quelque chose pour objet en le différenciant de soi-même), qui fait l'objet d'une longue analyse par Husserl. Après l'étape de la réduction phénoménologique (c'est-à-dire la suspension de la croyance dans l'existence d'un monde extérieur), Husserl constate tout de même une différence à l'intérieur de la conscience entre les vécus de la perception et de l'imagination. On a l'expérience que réfléchir pour la première fois quelque chose qui n'était pas réfléchi est un vécu différent de réfléchir quelque chose qui l'était (par exemple, se souvenir de s'être souvenu)²³. La conclusion de cette analyse est que nous avons la certitude que les produits de l'imagination et les perceptions n'ont pas le même statut.

Pour Schrödinger, les sensations brutes ne sont pas des constructions, puisqu'il considère que les constructions sont réalisées à partir des sensations, c'est-à-dire que celles-ci sont comme un matériau de construction. Il y aurait d'une part un « noyau de sensations » : une convergence de sensations distinctes par le temps, l'espace, ou par la nature de la perception, se constituant en complexe manifestant une unité de la sensation. Cette unité de la sensation présente d'ailleurs un caractère étonnant si on ne considère pas qu'elles ont toutes la même source. À ce noyau de sensations s'ajouterait d'autre part l'anticipation de futures sensations. L'anticipation est toujours présente, soit en vertu de l'unité sensorielle : lorsque l'un des sens perçoit quelque chose, on s'attend à ce que les autres

23. E. HUSSERL, *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie*, 1913 dans la traduction de P. RICOEUR, *Idées directrices pour une phénoménologie et une philosophie phénoménologique pure*, Gallimard, 1951, p. 248

sens le perçoivent aussi lorsque leurs conditions de perception seront réunies (lorsqu'on allumera la lumière pour une attente de la vue, par exemple); soit parce qu'à force d'habitude, on a installé un ensemble d'attentes théoriques par rapport à un complexe de sensations récurrent. L'importance du noyau sensible diminue alors de plus en plus : « Comme notre familiarité avec un élément de matière augmente, et en particulier comme nous approchons son aspect scientifique, la série d'attentes à son égard s'étend, jusqu'à inclure éventuellement toute l'information que la science a certifiée, c'est-à-dire le point de fusion, la solubilité, la conductivité électrique, la densité, la structure chimique et cristalline, etc. Conjointement, le noyau de sensations perd sa pertinence »²⁴. Ce sont ces attentes qui produisent les constructions que nous identifierons finalement comme « les choses de la vie courante », par un processus actif (bien que partiellement inconscient lorsqu'il prend place hors du cadre scientifique). Il est également possible dans un second temps d'augmenter les connaissances de notre esprit en se passant des données sensibles, en se servant uniquement de l'imagination et de l'entendement²⁵ (deux facultés se situant dans la réflexion). Puisqu'il présente la sensation première comme passive, on peut supposer qu'il est conscient de la différence entre sensation et imagination, cette dernière étant active. La question de savoir ce qui donne ce statut différent à la sensation reste donc ouverte.

Une possibilité serait que les choses que nous construisons soient un reflet de l'Esprit universel, incomplètement caractérisées par l'esprit humain, et que l'impression de perception y soit produite lorsque nous y ajoutons un élément provenant effectivement de l'Esprit universel, au contraire de l'imagination, qui nous cantonne à notre pensée sans chercher à soulever le voile qui nous sépare des pensées de l'Esprit unique.

Toutefois, si c'est le cas, cette conception n'est au fond pas très loin d'une conception réaliste dans laquelle la science nous permet de nous approcher d'une vérité absolue. L'absolu de la vérité ne serait pas fondé ici sur l'existence d'une matière réelle obéissant à des lois naturelles mais sur l'existence de pensées de l'Esprit unique établissant des lois. Dans les deux cas, il est évident que l'accès à cette connaissance absolue n'est pas immédiat, et dans les deux cas, on peut penser que

24. « As our familiarity with a piece of matter grows, and in particular as we approach its scientific aspect, the range of expectations in regard to it widens, eventually to include all the information science has ascertained, e. g. melting point, solubility, electric conductivity, density, chemical and crystalline structure, and so on. At the same time, the momentary sensational core recedes in relevance » E. SCHRÖDINGER, « What is an elementary particle? », in : *Endeavour* (1950), p. 109–116 Référence citée dans BITBOL, *op. cit.*, p. 204

25. *ibid.*, p. 205

la connaissance complète nous sera à jamais inaccessible pour des raisons de limitation de l'esprit humain.

Une autre question est celle de l'intersubjectivité : que peut-on vraiment considérer comme une construction commune à tous les hommes (et qui serait, rappelons-le, ce que nous appelons « le monde »)? En effet, le nombre de phénomènes compris, et de ce fait observés, est très inégal selon les humains. Le spectre d'émission de l'hydrogène, par exemple, participe à l'intersubjectivité des physiciens mais pas à celle de l'ensemble des humains. Schrödinger précise que la seule chose à propos de laquelle on puisse s'accorder est la structure du monde²⁶ ; cependant, cette structure prend bel et bien une forme différente pour des individus qui ont accès à un ensemble de phénomènes différent. Pourquoi cette répartition inégale ? La seule chose commune ici à l'ensemble des humains, c'est la capacité d'observer le spectre d'émission de l'hydrogène, et non son observation effective.

Or, dans ce cas, chaque découverte (ou construction selon Schrödinger) d'un nouveau phénomène par un scientifique créerait immédiatement chez toutes les autres apparences de consciences individuelles la capacité non encore réalisée d'observer ce phénomène. Quel impact formidable d'une seule conscience sur toutes les autres ! On est bien loin de la seule communication par le langage.

Le choix de l'hypothèse de l'Esprit unique résout certes la question de la nature de la perception, plus difficilement soluble par l'hypothèse du monde extérieur objectif, mais elle en soulève en fait de nombreuses autres. Ajoutons à la liste : pourquoi y a-t-il une apparence de pluralité là où ne réside qu'un Esprit unique ? Pourquoi la communication entre les sphères de conscience est-elle imparfaite alors qu'elle pourrait être transmise par l'intermédiaire de l'Esprit unique ? En d'autres termes : sommes-nous tous télépathes sans le savoir ? Comment considérer les espèces animales avec lesquelles une certaine forme de communication est possible et dans lesquelles est présente une forme de conscience proche de la nôtre ? Y a-t-il également une intersubjectivité des animaux, et où la situer par rapport à celle des humains ? Qu'est-ce que l'amour (au sens général) dans un monde moniste où la dualité n'est qu'illusion ? Si, comme dans les Upanishads, ce n'est que la reconnaissance de la non-pluralité des êtres²⁷, pourquoi ne se manifeste-t-elle que pour certaines personnes en

26. SCHRÖDINGER, *My View of the World*, p. 88

27. « Ce n'est pas pour l'amour de son mari qu'on chérit un mari ; mais c'est pour l'amour de l'âtman que l'on chérit un mari. », Brihadaranyaka Upanishad 2.4, §5. L'âtman étant la conscience absolue ; l'amour pour une personne est donc ramenée à l'amour de l'Esprit unique. On peut supposer qu'en tout cas chez Schrödinger, l'amour filial a également une

particulier? Il semble plutôt que l'amour, par son exclusivité, soit intimement lié à l'existence d'une individualité.

En outre, là où Schrödinger dénonce comme superflue la supposition qu'il existe à côté de l'idée ce dont elle est l'idée et exhorte à l'abandonner par l'autorité du principe du rasoir d'Occam²⁸, il fait une mauvaise utilisation du principe. En effet, dans l'hypothèse d'un monde extérieur objectif ne réside aucunement l'obligation de conférer une existence en soi aux idées que nous nous faisons des corps. C'est peut-être le cas dans une interprétation platonicienne, mais pas dans une interprétation matérialiste. En fait, si on applique le rasoir d'Occam aux deux propositions, toutes deux coûtent autant puisque la première exige l'existence des choses et la seconde celle des idées (présentes dans l'Esprit unique).

Un dernier point problématique est celui de la définition schrödingerienne de la conscience, à laquelle il est nécessaire de consacrer une étude plus poussée pour pouvoir la comprendre.

racine dans la continuité d'une lignée génétique, évoquée au chapitre suivant.

28. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 64 évoqué au début de ce chapitre comme étape du raisonnement de Schrödinger.

DE LA CONSCIENCE

Dans ce chapitre, j'examinerai dans un premier temps la conscience individuelle sans prendre en compte la doctrine de l'Esprit unique. En effet, le recours à celle-ci n'est pas nécessaire pour comprendre un premier aspect de la conscience présenté par Schrödinger, qui se révèle par l'analyse de ses fonctions. Le second aspect qui sera traité dans ce chapitre, en revanche, nécessite pour sa définition plus compréhensive d'aborder la question sous un angle ontologique, dans lequel intervient la doctrine de l'Esprit unique.

2.1 Conscience et attention

Schrödinger commence par observer que les actions que nous effectuons peuvent être présentes à la conscience ou lui échapper. Il expose une situation qui se répète : le fait de parcourir un trajet quotidien, et établit que les gestes effectués pour y répondre, puisqu'ils se répètent régulièrement à l'identique, sortent un peu plus à chaque répétition du domaine de la conscience¹. Seul l'apport d'un élément nouveau (un obstacle forçant à dévier du chemin habituel par exemple), ramène l'action dans la conscience. Le fait d'exclure ainsi les gestes Machinaux de la conscience est une opinion assez classique. Toutefois, cela nécessite de séparer la sensation et la conscience, puisque la sensation est nécessaire à l'action, même dans le cas d'une action mécanique (ce qui est mécanique, c'est la réaction à la sensation, et non l'enchaînement aveugle d'actions, bien sûr, car cela nécessiterait beaucoup trop de précision pour éviter la propagation de petites erreurs initiales, qui pourraient prendre des proportions dangereuses pour des trajets longs).

D'autre part, il est nécessaire d'ajouter que la sortie de la conscience est ici soumise à certaines conditions : tout d'abord, seuls les gestes effectués pendant le trajet et strictement liés au trajet

1. *idem, L'Esprit et la Matière*, p. 108

géométrique sortent de la conscience. En effet, une foule d'autres éléments du trajet se présentent de manière toujours différente, comme les passants, les oiseaux, les plantes, les nuages, etc. et se rappellent donc sans cesse à l'attention². En outre, les événements mentaux, même ceux qui se répètent, ne peuvent pas, eux, sortir de la conscience. Que ce soient les éléments que l'on apprécie par le fait même qu'ils se répètent et qu'ils nous procurent une sensation toujours renouvelée, comme un bel arbre qu'on est heureux de reconnaître chaque fois qu'on arrive à sa hauteur; ou encore des éléments répétés auxquels on n'accorde pas spécialement d'importance mais qui se portent à l'attention malgré soi à chaque passage, comme une inscription que l'on ne peut pas s'empêcher de relire, même si on la connaît déjà par cœur. Ceux-ci n'échappent à la conscience que lorsque la pensée est concentrée sur un autre sujet, par exemple sur une réflexion intérieure. C'est sans doute en considérant comme courante une telle manière de se replier dans ses pensées que Schrödinger affirme que c'est un « fait bien connu que toute série particulière de phénomènes auxquels nous participons consciemment ou même activement, si elle est répétée encore et encore exactement de la même façon, s'efface graduellement de la sphère de la conscience »³. On comprend mieux sa conception si l'on entend la conscience au seul sens de l'attention. En effet, les phénomènes ne peuvent échapper à l'attention que si celle-ci est dirigée vers autre chose. De ce fait, nous avons la capacité de répondre mécaniquement à n'importe quel phénomène répétitif si nous sommes plongés dans nos pensées, bien que cela ne devrait pas entraîner l'inéluctabilité de l'effacement de tout phénomène répétitif, puisque, comme on l'a dit, on peut très bien considérer un tel phénomène avec une attention sans cesse renouvelée. Si on considère un autre exemple mentionné par Schrödinger, celui de nouer ses lacets⁴, bien que je sois capable de le faire sans y penser, il m'arrive encore d'être consciente de les lacer, simplement parce qu'il se fait que je ne pense pas à autre chose. Schrödinger évoque encore l'histoire d'un mathématicien, parti dans sa chambre pour changer de col avant d'accueillir des invités, qui s'est retrouvé tout apprêté à s'endormir dans son lit, du fait de l'association entre le geste

2. Voir par exemple la description husserlienne de la perception attentive (« Je puis déplacer mon attention (...) dans tous les objets dont je « sais » justement qu'ils sont à telle ou telle place dans l'environnement immédiatement co-présent à ma conscience ») et de la conscience vigilante sur le fond d'une « zone d'inactualité, toujours prête elle-même à se convertir dans le mode de l'actualité, comme réciproquement l'actualité en inactualité ». RICOEUR, *op. cit.*, paragraphes 27 et 35

3. Traduction libre du passage : « the well-known fact that any particular series of phenomena in which we consciously or even actively participate, if it is repeated over and over again in exactly the same way, gradually sinks out of the sphere of consciousness. » SCHRÖDINGER, *My View of the World*, p. 46

4. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 198

d'enlever son vieux col et le coucher⁵; il est évident qu'une telle histoire ne peut arriver qu'à un homme profondément plongé dans ses pensées.

Cependant, si la perte de conscience des gestes rodés par l'habitude n'est qu'éventuelle, il existe des gestes pour lesquels elle est totale, et ce sont les mouvements physiologiques. Pour Schrödinger, en effet, les mouvements inconscients comme les battements de cœur ou le péristaltisme⁶ sont le résultat de la sortie progressive de la conscience de mouvements qui nécessitaient auparavant de l'attention, jusqu'à ce qu'ils en soient si définitivement sortis qu'on ne puisse même plus les y ramener volontairement. Cette sortie totale nécessite cependant une échelle de temps plus longue que la vie individuelle, de l'ordre de l'évolution de l'espèce, à laquelle nous reviendrons plus loin.

Il faut d'abord examiner un point essentiel concernant les actions présentes à la conscience : le fait que cette dernière n'en soit pas directrice. La formulation positive du rôle de la conscience par Schrödinger est assez vague : « Le fait consiste seulement en ceci : les nouvelles situations et les nouvelles réponses qu'elles suscitent sont maintenues dans la lumière de la conscience tandis que les situations anciennes et bien connues ne le sont plus. »⁷, mais sa formulation négative nous permet d'en deviner plus.

Pour nous en faire une image, nous pourrions dire que la conscience est l'instructeur supervisant l'éducation du tissu vivant, appelé au secours dès que surviennent de nouveaux problèmes mais laissant les élèves livrés à eux-mêmes pour régler ceux pour lesquels il sait qu'ils ont suffisamment d'entraînement.

Ceci est une image! Je devrais souligner image vingt fois et l'imprimer en grosses lettres couvrant toute la page. La tendance de notre tradition animiste ne sera que trop certainement d'inculquer l'idée que lorsqu'une nouvelle situation se présente, un "moi de la conscience", un petit démon est réellement convoqué pour éclairer la situation et prendre la décision qui sera alors exécutée. Cette notion serait un épouvantable malentendu, une régression monstrueusement infantile. La seule chose que nous affirmons est le fait que les nouvelles situations et les nouvelles réactions en conséquence sont accompagnées de conscience, et ce tant qu'elles ne sont pas apprises.⁸

5. *idem*, *My View of the World*, p. 49

6. *ibid.*, p. 49

7. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 198

8. Traduction libre du passage : «To give ourselves an image of this, we might say that consciousness is the instructor supervising the education of the living tissue, who is called on for help whenever new problems crop up but leaves the pupils to themselves to deal with those in which he knows they have had sufficient practice. That is an image! I should like to underline image twenty times and have it printed in letters covering the whole page. The tendency of our animistic tradition will be, all too surely, to inculcate the idea that when a new situation is encountered, an "I of consciousness", a little demon, really is summoned up to shed light on the situation and take the decision which is then acted on. This notion would be a dreadful misunderstanding, an infernal infantile regression. All we are asserting is the fact that new situations and the new reactions consequent upon them are accompanied by consciousness, and those long since learnt are not.»; *idem*, *My View of the World*, p. 48

L'intention du passage est de dire que ce n'est pas la conscience qui agit ; la conscience est seulement ce qui accompagne certaines des actions du tissu vivant. Dire qu'un acte se fait avec conscience, c'est simplement dire qu'il se fait avec attention. Il n'y a pas un moi qui est là en permanence et qui intervient ou n'intervient pas.

Il se fait que certains actes sont conscients et ce sont les actes qui constituent des réactions nouvelles à des situations. Ce qui agit, c'est le corps vivant. Ce passage ne permet pas de savoir si ces réactions conscientes sont déterminées ou pas. Le fait qu'il y ait des actes attentifs est une condition nécessaire mais pas suffisante pour échapper à un déterminisme total.

En effet, pour certains déterministes, la conscience constate les décisions résultant de la balance des désirs et influences diverses, sans en être responsable. Mais ce passage laisse aussi ouverte la possibilité qu'il existe des actes précédés d'une délibération, parmi les actes conscients. Nous trouverons dans un autre texte la confirmation que la conception de Schrödinger n'est pas un déterminisme total, mais pour le montrer il nous faut changer d'échelle car l'élément de liberté se révèle dans l'évolution de l'espèce.

2.2 Conscience et mémoire supra-individuelles

Schrödinger fait remarquer qu'il y a, parallèlement à l'évolution darwinienne, un processus d'apparence lamarckienne dans l'apprentissage des comportements chez les animaux⁹. En effet, bien que les mutations soient spontanées et aléatoires, les comportements de leurs porteurs ont une influence sur la sélection et font apparaître une tendance de renforcement de la mutation dans la direction avantageuse à l'espèce¹⁰. Par exemple, il distingue trois étapes dans l'évolution des comportements de nidification des oiseaux¹¹ :

1. L'apparition d'ailes minimales permet aux oiseaux d'atteindre les hauteurs des arbres.
2. De ce fait, ils commencent à construire leurs nids dans les arbres.
3. Ce type d'habitat sélectionne les oisillons les plus capables de voler.

9. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 223 Pour faire ce constat, Schrödinger se réfère à l'autorité du biologiste Julian Huxley.

10. *ibid.*, p. 218

11. *ibid.*, p. 219

En d'autres termes, les trois étapes du phénomène sont : la naissance d'une aptitude (1), entraînant le changement d'environnement (2) et par conséquent l'accumulation de la même aptitude (3).

Ce phénomène ne requiert pas l'existence d'un dessein individuel, comme le montre Schrödinger en prenant l'exemple d'une population de plantes de montagnes disposant d'un caractère velu avantageux pour résister au froid, et dont la migration vers les hauteurs de la montagne est réalisée par l'espèce entière¹².

Jusqu'ici, on pourrait dire que l'apparence lamarckienne reste vague, mais Schrödinger ajoute que, même pour les espèces capables de transmettre culturellement un comportement avantageux à leurs descendants, ces apprentissages ne se cantonnent pas au niveau culturel : ils se transmettent ensuite à l'ensemble des déterminations inscrites dans les gènes. Comment cette transmission s'effectue-t-elle ? Schrödinger y répond en invoquant une causalité structurelle : les nouveaux organes portent en eux leur utilisation¹³. En effet, en suivant le « sens avantageux » évoqué plus haut, le comportement devient de plus en plus lié à la simple possession de l'organe¹⁴. Le comportement de vol, par exemple, devient réciproquement lié au fait d'avoir des ailes. La réciproque n'implique pas ici de considérer que l'utilisation est inscrite dans la matière des organes directement, mais bien de mettre en évidence une causalité de type "top-down"¹⁵, agissant depuis le niveau émergent sur le niveau constituant (ici depuis le niveau fonctionnel vers le niveau corporel). Ce niveau émergent où s'inscrit l'apprentissage de nouveaux comportements, Schrödinger le désigne comme une mémoire supra-individuelle, pour laquelle il s'inspire du concept de « mneme » de Richard Semon¹⁶ (zoologue du XIX^e siècle croyant en l'hérédité des caractères acquis). Il en tire la conviction qu'une lignée génétique forme un seul et même être¹⁷. En effet, il déduit du lien entre l'organe et sa fonction que « le comportement et la constitution physique ne font plus qu'un »¹⁸, donc puisque le comportement est déterminé de façon supra-individuelle, l'être est également supra-individuel. Au

12. *ibid.*, p. 218

13. *ibid.*, p. 224

14. *ibid.*, p. 224

15. Au sens de Ellis, G.F.R. Voir notamment : G. AULETTA, G.F.R. ELLIS et L. JAEGER, « Top-down causation by information control : from a philosophical problem to a scientific research programme », in : *J. R. Soc. Interface* 5 (2008), p. 1159–1172

16. SCHRÖDINGER, *My View of the World*, p. 44

17. *ibid.*, p. 23

18. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 224

cours de cette déduction, Schrödinger passe d'un lien de causalité réciproque (« comportement » \Leftrightarrow « physiologie ») à un lien d'identité (« comportement » = « physiologie »), c'est-à-dire : puisque tous ont le même comportement, tous ne font qu'un. D'autre part, il s'agit d'une hypostasie de la forme (entendue ici comme l'ensemble des caractéristiques essentielles et inessentiels). En effet, faire d'une espèce un être, c'est faire d'un ensemble de caractéristiques essentielles un être, et de caractéristiques inessentiels des individus. Nous verrons que Schrödinger effectue cette transition à plusieurs reprises.

De cette mémoire portée par toute une espèce, la conscience est la partie en prise avec le présent : elle est ce qui permet à tout organisme de s'adapter à son environnement, c'est-à-dire d'apprendre, au sens le plus large du terme (qui inclut un simple conditionnement)¹⁹. Les compétences organiques, au contraire de l'apprentissage en cours, sont inconscientes. Schrödinger le résume en quelques mots : « Devenir est conscient, être est inconscient »²⁰. Nous découvrons ainsi une signification de la conscience de l'espèce analogue à la signification d'attention au niveau individuel.

Chez l'humain, l'organe qui permet l'apprentissage est le cerveau, car c'est le seul qui soit encore sujet à des changements importants²¹, c'est pourquoi nous y plaçons la conscience. Le cerveau est en effet la partie du corps engagée dans l'évolution de notre espèce, et cette opinion conduit d'ailleurs Schrödinger à prôner une société qui permette un meilleur développement personnel dans le but de laisser libre cours à cette évolution.

Chez les autres animaux dont la forme entière continue d'évoluer, la conscience n'est pas restreinte à un organe, elle est répandue dans tout le corps, et même, dans toute l'espèce, qui apprend comme un tout. Les individus y sont présents non pas comme des parties (qui pourraient être objectivement distinguées), mais « tous dans tous », d'une façon inconcevable pour la raison ordinaire²². Selon Schrödinger : « On peut parler de l'identité de la conscience d'un individu avec celle de ses ancêtres essentiellement de la même façon que de l'identité de ma conscience avant et après un sommeil profond. »²³. Même s'il ne le dit pas explicitement, Schrödinger considère donc certainement que la conscience des animaux et des plantes participe à l'Esprit unique.

19. « Becoming is conscious, being unconscious » *idem, My View of the World*, p. 51

20. *ibid.*, p. 51

21. *ibid.*, p. 55

22. *ibid.*, p. 21

23. « We can speak of the identity of an individual's consciousness with that of one of his ancestors in much of the same sense as we can of the identity of my consciousness before and after a deep sleep. » *ibid.*, p. 23

Schrödinger présume que cette idée d'une mémoire supra-individuelle est la part de sa doctrine qui pourra être le plus facilement assimilée par la science, car celle-ci la constate déjà dans l'instinct animal²⁴. En revanche : « La découverte de phénomènes similaires chez l'homme est rendue difficile par le fait qu'il y a toujours une perception intérieure de sa propre action, combinée avec la conviction – erronée selon moi – qu'une action n'est instinctive que si elle s'effectue entièrement sans pensée, sans être accompagnée d'aucune délibération. »²⁵.

On peut reconnaître que cette proposition convient bien à la doctrine ontologique de Schrödinger mais en se permettant tout de même d'émettre une certaine réserve. Elle implique en effet que l'apprentissage technique animal ne se fait pas de façon individuelle mais qu'il serait induit chez les animaux par la conscience de l'espèce; qu'il se ferait donc par instinct et non en raison d'une astuce individuelle (bien que la conscience d'espèce puisse éventuellement provoquer l'illusion d'une astuce individuelle, comme chez les humains). Or, l'observation de nouvelles techniques de chasse chez les animaux permet de trouver un premier animal à l'origine de la technique, à partir duquel celle-ci s'est répandue dans une population par imitation ou communication. C'est le cas par exemple de l'otarie des Galápagos (ou *zalophus*), chez laquelle on a observé l'apparition d'une nouvelle technique de chasse au thon, où plusieurs individus rabattent les poissons sur les rochers pour les suffoquer²⁶.

D'autre part, certains comportements sont développés seulement dans de petits groupes d'individus alors même qu'ils seraient très avantageux pour l'espèce entière; si elle était bien à l'origine de cette découverte, la conscience d'espèce n'aurait donc aucune raison d'en priver la majeure partie de ses individus. L'origine des comportements animaux par l'adaptation de l'espèce n'est donc pas si évidente dans les faits. Il n'est pas exclu que Schrödinger ait été influencé par sa croyance holiste lors de son interprétation du comportement animal, et non l'inverse, ce qui le rendrait sujet à un

24. *ibid.*, p. 23

25. « The discovery of similar phenomena in man is made difficult by the fact that there is always an interior awareness of one's action combined with the conviction – mistaken in my opinion – that actions are only instinctive if they take place entirely without thought, without any accompanying deliberation. » *ibid.*, p. 24

26. Technique découverte lors du tournage d'un documentaire de la BBC : Blue Planet II, épisode 6 : Coasts, dont on trouve un compte-rendu succinct sur le site de la BBC à l'adresse : <http://www.bbc.co.uk/programmes/articles/4c3Qs1lTB7M6BlGG9bQqS9p/filming-galapagos-sea-lions-hunting-tuna> Pour donner un autre exemple, on peut citer le groupe de dauphins de la côte atlantique des États-Unis qui a développé la technique de chasse appelée « mud plume feeding », technique très efficace qui consiste à désorienter les poissons en les enfermant dans un anneau de sable en suspension, et décrite dans J. LEWIS, « Mud Plume Feeding, a Unique Foraging Behavior of Bottlenose Dolphin in the Florida Keys », in : *Gulf of Mexico Science* (2003)

biais de confirmation. Ce biais est d'ailleurs très fréquent dans l'observation des comportements animaux.

Sa conception particulière de la conscience conduit également Schrödinger à considérer que les individus d'espèces animales extrêmement simples en sont doués, par exemple l'hydre (animal du même embranchement que les méduses et les coraux, connu pour ses propriétés régénératives quasiment infinies), sur laquelle il étudie l'indivisibilité de la conscience²⁷. Lorsqu'on sectionne une hydre en deux parties (peu importe à quel point ces parties sont asymétriques), chacune d'entre elles se reconstitue en un corps d'hydre entier. Schrödinger interprète ce phénomène comme dû à la présence dans les deux sections d'une conscience définie comme la « continuation entière de ce qui se trouvait là avant ». Il considère que c'est ainsi que l'on peut avoir la compréhension la plus intuitive du phénomène, car elle ne requiert ni division ni multiplication de la conscience. Cependant, il se contente de constater sans l'expliquer que la même double reconstruction n'est possible que dans certaines conditions chez les plantes et ne l'est pas chez la plupart des autres animaux²⁸ ; on ne peut savoir si c'est le signe que la conscience n'est pas répandue dans tout le corps pour eux.

La « continuation » susmentionnée des sections d'hydre n'est ni une âme ni une substance. Schrödinger exprime en effet clairement son opposition à l'idée « d'une âme résidant dans le corps comme dans une maison, le quittant à la mort et capable d'exister sans lui », qu'il qualifie de « trop naïvement puérile »²⁹. Il s'agit plutôt d'une sorte de « plan » de l'hydre, d'une mémoire de sa structure. Ici se manifeste une définition plus large de la conscience que celle qui l'identifiait à l'attention. Elle se présente comme une forme, qui engloberait également la mémoire de l'espèce ainsi que son constant devenir. Schrödinger utilise l'une ou l'autre définition de la conscience en fonction du sujet : il adopte généralement celle d'une forme historique lorsqu'il parle de l'évolution des espèces, et plutôt celle de l'attention dirigée sur le présent lorsqu'il parle des phénomènes mentaux chez les humains.

27. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 31

28. *ibid.*, p. 32

29. Traduction libre de : « the idea of a soul dwelling in the body as in a house, quitting it at death, and capable of existing without it » et « too naïvely puerile » *ibid.*, p. 12

2.3 Une conscience réduite

Le principal problème de la définition de la conscience individuelle par Schrödinger est qu'elle ignore une grande partie des actes de la conscience décrits par la philosophie. Schrödinger suppose qu'il est possible de traiter l'information des sens en dehors de la conscience. En effet, toute l'information transmise par les sens au cours d'une action mécanique doit être traitée pour pouvoir générer la réponse appropriée, or ce traitement est effectué hors de l'attention, donc de la conscience au sens étroit. Ceci exclut donc une grande part de ce que l'on place habituellement dans la conscience. Or, peu de temps auparavant Husserl avait déjà mis en évidence la présence de ces perceptions dans la conscience par la possibilité d'une « une libre conversion du "regard", - non pas purement et simplement du regard physique, "mais du regard mental" - qui se détache du papier d'abord regardé pour se porter sur les objets qui apparaissaient déjà auparavant et dont on avait par conséquent une conscience "implicite"; après la conversion du regard, ces objets accèdent à la conscience explicite, ils sont perçus "attentivement" ou "notés accessoirement" »³⁰. En d'autres termes, si l'on peut tourner son regard vers un objet, c'est parce qu'on sait qu'il est déjà là; par conséquent sa perception réside déjà dans la conscience, même si l'attention n'est pas tournée vers lui.

On pourrait être tenté d'appliquer la définition large, que Schrödinger réserve à la conscience d'espèce, aux consciences individuelles. Elle serait alors proche de l'âme d'Aristote, c'est-à-dire de l'organisation des fonctions d'un corps vivant. Par ailleurs, l'importance de la continuité temporelle, illustrée par la comparaison avec le réveil après un sommeil profond, fait écho à la conception lockienne de la conscience personnelle, mais le parallèle s'arrête là car, d'une part, cette conscience chez Locke est réservée aux humains et, d'autre part, la mémoire personnelle n'inclut pas l'ensemble des acquis fonctionnels.

En outre, une difficulté commune aux deux définitions concerne la distinction entre la conscience et ses contenus. Pour Schrödinger, il n'y a pas de contenus mais seulement des constituants ou des éléments de la conscience³¹. Tout est immanent à la conscience. Il reste néanmoins une distinction entre perception et perçu, entre penser et pensé. En effet, si la conscience était constituée seulement de perçus, rien n'assurerait sa continuité temporelle, qui doit être réalisée par la mémoire de

30. RICOEUR, *op. cit.*, p. 113

31. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, pp. 16-17

l'acquis (certes, affirmée au niveau de l'espèce seulement, mais qui doit a fortiori s'appliquer à tous les membres de cette espèce).

Qu'en est-il dès lors d'une éventuelle conscience de soi? Dans cette conception, elle n'est pas nécessaire pour assurer la continuité. Mais elle est nécessaire pour rendre compte d'autres observations reconnues par Schrödinger : l'auto-conservation impliquée dans l'évolution, la distinction entre soi et autrui impliquée dans l'apparition du langage, etc. En effet, l'auto-conservation suppose au moins une conscience de soi non-thétique au sens de Sartre, c'est-à-dire la distinction spontanée entre soi et non-soi et le fait de rapporter à soi les événements, sans se prendre encore pour objet réflexivement³². La distinction entre soi et autrui est implicite dans sa présentation de l'intersubjectivité, dans la mesure où, pour reconnaître des comportements similaires au nôtre, il faut avoir conscience de ses propres comportements : « Il y a un autre comme toi assis là-bas ; des pensées et des sentiments se déroulent en lui aussi »³³. Bien que Schrödinger refuse la distinction sujet-objet en l'attribuant à une habitude linguistique³⁴, sa notion de conscience l'implique mais dans l'immanence. D'après son ontologie générale, d'ailleurs, cette immanence est celle de l'Esprit unique qui englobe toutes les consciences apparemment séparées.

Il est cependant possible que, au niveau de l'Esprit unique, même cette distinction immanente soit une illusion, de la même manière que l'écoulement du temps ou l'étendue dans l'espace.

2.4 Conscience et apprentissage

Placer la notion d'apprentissage au centre de la conscience soulève la question de la conscience des machines. En effet, depuis l'avènement du machine Learning et des réseaux de neurones utilisés dans le Reservoir Computing, l'apprentissage par imitation et auto-développement font partie des capacités des ordinateurs. Les programmes basés sur cette technique créent leurs propres critères de reconnaissance pour traiter une diversité (d'images par exemple) qui leur est fournie, et ils sont ensuite capables de reconnaître et même de générer des éléments nouveaux correspondant à ces critères. Si l'on considérait que la conscience individuelle ne requiert rien de plus que la capacité

32. J.P. SARTRE, *L'Être et le Néant*, Gallimard, 1943, pp. 16-17

33. « There's another one like you sitting over there, thinking and feeling go on in him too ». SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 35

34. *ibid.*, p. 76

d'apprentissage, un ordinateur serait donc conscient. Cependant, comme nous venons de l'établir, ce n'est pas le cas : même au sens de Schrödinger, la conscience est aussi définie comme une conscience de soi au sens de l'expérience que ce qui apparaît apparaît à soi. Selon la conception schrödingerienne de la conscience, une machine n'est donc pas consciente, parce qu'elle n'a pas l'expérience des situations qu'elle traverse ; elle ne les vit pas, puisque dans l'état actuel du développement technique, on peut supposer qu'est incapable de savoir que c'est à elle que cela arrive.

2.5 La moralité à l'aune de la conscience schrödingerienne

Schrödinger peut alors développer sa préoccupation morale : « la théorie de la conscience que j'ai esquissée semble ouvrir la voie à une compréhension scientifique de l'éthique »³⁵. Il procède en deux étapes, écartant d'abord la responsabilité des actes par le déterminisme et introduisant ensuite une morale fondée sur l'évolution biologique. La personnalité est déterminée par une action combinée des gènes et de l'environnement (celui-ci étant naturel en dernier ressort, puisque l'environnement social est issu, comme tous les comportements, d'une adaptation au milieu naturel), or les gènes sont également déterminés par l'environnement³⁶. Il en conclut qu'un individu n'est pas seulement lié à ce qui arrive à ses ancêtres, mais il est produit par cela, et ne forme finalement qu'un avec ses ancêtres dans une histoire continue. Schrödinger réalise à nouveau un passage d'une relation de causalité : « B est produit par A », à une relation d'identité : « A et B ne font qu'un », et une hypostasie d'une lignée génétique (donc d'une structure).

Malgré ce déterminisme, Schrödinger maintient l'existence d'une morale, limitée dans sa définition au contrôle des désirs primitifs (à la « self-conquest »)³⁷. Il assimile la résistance des désirs primitifs à notre contrôle à la résistance de la forme ancestrale au « burin de l'évolution »³⁸. Nous sommes à la fois le contrôle et la résistance au contrôle, et les deux sont des forces de la nature participant à l'évolution. Le conflit avec soi-même est donc indissociable de la conscience³⁹, c'est-à-dire de l'apprentissage, puisque la conscience est par sa nature évolutive en constante contradiction avec le reste des caractères appris qui constituent l'être.

35. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 207

36. *idem*, *My View of the World*, p. 27

37. *ibid.*, p. 52

38. *ibid.*, p. 54

39. *ibid.*, p. 55

Cependant, la morale de l'idéalisme, c'est-à-dire l'aspiration consciente à progresser vers un but plus élevé, est rejetée par Schrödinger comme « infantine »⁴⁰. L'évolution qu'il décrit est de la même nature que celle des espèces : elle n'est pas dirigée par une finalité. Le fait de se fixer un idéal n'est qu'une expression particulière de l'exigence de vertu, qui en revanche est un fait (pour le constat duquel il se réfère à Kant⁴¹, et dont il s'avoue « aussi incapable que n'importe qui d'autre [de l'] expliquer »⁴²). Les morales religieuses ne sont rien d'autre non plus que ce genre d'expression contingente de l'exigence de vertu. Il est important de comprendre l'origine de l'exigence de vertu selon Schrödinger, car il serait illogique qu'elle soit transcendante alors que tous les autres comportements sont appris par l'évolution. Elle fait effectivement partie des comportements acquis et inscrits dans les gènes, ou plus précisément, des comportements en cours d'acquisition. Schrödinger fait remarquer que si l'attitude égoïste est une vertu pour une espèce solitaire, elle est un danger pour une espèce sociale, c'est pourquoi elle a disparu des espèces qui sont depuis longtemps collectives comme les fourmis. Chez l'humain, qui n'est une espèce collective que depuis peu à l'échelle de l'évolution, cette attitude égoïste n'est qu'en cours de disparition. Bien que l'on n'en soit pas conscient, ce qui sous-tend l'action morale individuelle est la reconnaissance du fait que l'on ne fait qu'un avec toute l'espèce, et c'est ce qui nous permet de rester serein lorsqu'on sacrifie notre vie pour une fin qu'on pense bonne ou qu'on donne quelque chose dont on a pourtant besoin à un inconnu, sans espoir de récompense⁴³.

On peut clairement constater que l'exigence de vertu se réduit à l'altruisme chez Schrödinger et c'est pour cette raison que la justification par l'utilité pour la survie de l'espèce est admissible. Cependant, l'exigence de vertu au sens Kantien peut aussi entrer en contradiction avec l'altruisme, comme dans le célèbre exemple de l'impératif catégorique « ne pas mentir », même par humanité, c'est-à-dire même si cela entraîne la mort d'un autre être humain. Il est impossible de rendre compte de ce genre de valeur à partir de la domination de désirs primitifs (« self-conquest »).

En outre, la justification de la morale par l'utilité pour la survie de l'espèce relève clairement de l'utilitarisme. Or, Schrödinger se prononçait résolument contre ce type de morale, en le qualifiant

40. *ibid.*, p. 57

41. *ibid.*, p. 57

42. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 264

43. *idem*, *My View of the World*, p. 22

d'attaque « puissante et dévastatrice » contre toute moralité⁴⁴. Il lui reprochait d'être basé sur le fait de suivre un « je veux » (« I want ») au lieu d'un « tu devrais » (« thou shalt »). Peut-être considère-t-il l'utilité pour l'espèce comme plus noble que l'utilité pour l'individu, mais il n'en fournit pas de justification. D'une manière générale, la raison pour laquelle l'évolution d'une espèce est considérée comme un bien est assez mystérieuse.

Pour conclure, il est important de mentionner que Schrödinger n'est pas un déterministe : on trouve une parcelle de liberté dans certaines situations précises. En effet, bien que les mutations soient physiquement déterminées, le comportement du porteur de la mutation a un rôle important à jouer dans la sélection⁴⁵. C'est pourquoi Schrödinger enjoint ses semblables à ne pas attendre que l'évolution se fasse toute seule, mais à agir⁴⁶. Il soutient que l'Histoire dépend de nos actes, et non du destin ; par conséquent, c'est aussi le cas de l'avenir biologique. D'autre part, indépendamment du fait que nos comportements puissent être prévus ou non par une entité d'ordre supérieur, l'homme doit se considérer comme libre (injonction classique dans la pensée chrétienne, dont Michel Bitbol précise qu'on la trouve également chez Leibniz⁴⁷).

44. *ibid.*, p. 53

45. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, p. 202

46. *ibid.*, p. 227

47. *ibid.*, note 12, p. 227

DE L'IDENTITÉ

3.1 Énoncé de la question

La question de l'identité (ou de l'identification) est, sinon la plus courante, l'une des questions les plus couramment abordées en philosophie de la mécanique quantique, et pourtant la définition de ce qu'on entend même par identité est rarement précisée, comme si on se reposait sur une connaissance commune, alors que manifestement les conceptions implicites sont différentes voire divergentes. Or la théorie quantique remet en question tous les critères utilisés jusqu'ici pour caractériser l'identité des corps. Je vais donc d'abord présenter les conceptions principales de l'identité avant le bouleversement quantique et ensuite développer la problématique telle que Schrödinger la traite dans le cadre quantique, pour évaluer sa position par rapport à cet héritage.

Le premier philosophe auquel il est nécessaire de remonter lorsqu'on parle d'identité est Aristote, qui dans le cadre d'une longue étude de la question¹, distinguait notamment l'identité spécifique (c'est-à-dire l'ensemble des caractères essentiels qui fondent l'appartenance à une même espèce) de l'identité numérique (c'est-à-dire l'unité de l'individu en dépit de ses différents aspects ou changements inessentiels ; par exemple, le carnet de croquis que je possédais étant petite est le même numériquement que ce vieux carnet de croquis que j'ai retrouvé dans un carton récemment). L'identité numérique est la condition de la permanence dans le temps ; la discontinuité d'existence brise l'identité numérique². Ce peut être un critère de différenciation pour deux objets absolument identiques par ailleurs : il suffit que leur existence se déroule en des temps différents³. Par

1. ARISTOTE, *Métaphysique Delta 6*, 1016b31–1017a3 traduit du grec ancien dans A. STEVENS, *Aristote, Œuvres*, La Pléiade, Gallimard, 2014, p. 1001–1004, pp. 1003–1004 et ARISTOTE, *Métaphysique Delta 9*, 1018a5–1018a9 traduit du grec ancien dans R. BODÉÛS et A. STEVENS, *Aristote, Œuvres*, Vrin, 2014, p. 44

2. La permanence suppose l'identité numérique, mais l'identité numérique ne suppose pas la permanence : par exemple, dans un monde stationnaire, on pourrait définir l'identité numérique sans avoir recours à la permanence qui est une notion temporelle.

3. La discontinuité temporelle (pas forcément spatiale) traduit la non-identité, toutefois deux choses peuvent être

conséquent, deux objets sont numériquement différents s'ils ont au moins un caractère différent en même temps (si c'est un caractère essentiel, ils sont en plus spécifiquement différents). Nous allons voir que seuls les objets quantiques peuvent n'avoir aucun caractère différent, y compris le temps, et être pourtant numériquement distincts. Ceci est dû au fait que le critère de différenciation par le lieu n'est plus toujours utilisable.

À cette conception générale, il faudra ajouter un cas particulier d'identité numérique : celle des êtres vivants qui restent identiques bien qu'ils soient composés d'un flux sans cesse renouvelé de nouveaux composants. Certains de ces êtres vivants sont même conscients d'eux-mêmes, c'est-à-dire capables de distinguer entre le soi et le non-soi et conscients que les événements leur arrivent à eux (ils ont une conscience de soi non-thétique au sens de Sartre). Certains encore parmi ces derniers possèdent la conscience de leur essence et sont capables de dresser une liste de leurs caractéristiques et de se différencier par rapport à tout le reste, ce qui constitue un degré encore supérieur d'autoréférence, qui requiert une conscience réflexive. Il s'agit de l'identité personnelle.

On pourrait penser que ces cas particuliers n'interviendront pas dans le débat, étant donné qu'ils concernent plutôt la philosophie de la biologie que celle de la physique. En revanche, on voit immédiatement l'enjeu que peuvent avoir dans l'interprétation de la mécanique quantique les différents critères de l'identité numérique, par exemple : est-il possible (et si oui par quels critères) de distinguer deux photons de même fréquence ? Deux électrons de même spin ? Ou encore, lorsqu'on observe la trace d'une particule dans une chambre à brouillard, est-il possible de dire s'il s'agit de la même particule en début et en milieu de course ?

Cependant, nous verrons que tant l'appel à une identité de structure ou d'organisation que la référence à une conscience entrent en jeu dans les raisonnements de ceux qui se sont penchés sur la question, et de façon très claire chez Schrödinger.

3.2 Les principes d'identité chez Locke et Leibniz

D'après Steven French et Décio Krause⁴, les critères actuellement utilisés pour caractériser l'identité se regroupent en trois catégories : le principe d'identité des indiscernables, l'identité

non-identiques sans être séparées dans le temps.

4. Dans leur livre : S. FRENCH et D. KRAUSE, *Identity in Physics : a historical, philosophical and formal analysis*, Oxford University Press, 2006, note 12, p. 227

spatio-temporelle (STI) et l'identité transcendantale (TI). Selon cette dernière, il y a une transcendance de l'individu, qui n'est déterminé comme unique ni par l'ensemble de ses caractéristiques essentielles individuelles, ni par sa position spatio-temporelle, mais en soi. Chaque individu est supposé identique à lui-même, comme on affirmerait en logique « $A = A$ »⁵.

Cependant, cette supposition n'est qu'une autre formulation de l'impossibilité d'une identité numérique entre deux individus, qui n'en apporte aucune démonstration. Puisqu'elle ne permet aucune discussion sur les critères de cette identité, je ne me servirai pas cette dernière catégorie.

Les deux premières catégories remontent quant à elles aux théories de l'identité respectives de Leibniz et de Locke. Je ne discuterai pas la valeur de chacune des deux positions dans un cadre macroscopique car cela dépasse le cadre de la question qui nous occupe, mais j'analyserai leur influence sur la pensée de Schrödinger. Bien que d'autres philosophes et logiciens aient également travaillé sur l'identité, ces deux-ci sont ceux qui présentent la plus grande pertinence dans ce cadre.

Lorsque Locke parle d'identité, c'est au sens de l'identité numérique, et on lui doit la distinction entre l'identité des corps, celle du vivant et celle des personnes⁶.

Tout d'abord, il apparaît évident pour lui que deux choses ne peuvent pas être au même endroit au même moment et que, de même, une chose ne peut pas être à deux endroits en même temps. En effet, si deux choses résidaient au même endroit en même temps, elles ne pourraient pas être distinguées de la nouvelle chose formée par leur union et le tout ne constituerait donc qu'une chose unique. Par conséquent, une chose ne peut avoir eu qu'un commencement d'existence spatio-temporel, et c'est en cela même que consiste l'identité.

Il en va de même pour les caractéristiques qui peuvent être données à ces corps (deux couleurs superposées ne sont rien d'autre qu'une couleur de mélange), ainsi que pour le mouvement et la pensée. Deux pensées identiques peuvent être distinguées par le lieu qu'elles occupent par accident (occupé par le penseur) ou le moment où elles sont pensées par un même penseur; de même pour les qualités ou les mouvements.

Ensuite, Locke annonce un premier cas particulier qui est celui de l'identité des êtres vivants, en progressant graduellement : au premier niveau, celui des plantes, l'identité n'est pas la somme

5. On trouve un éclaircissement de cette idée dans S. FRENCH, « Identity and Individuality in Quantum Theory », in : *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (2006), chapitres 1 et 2

6. John LOCKE, *An Essay Concerning Human Understanding*, t. II, 1690, chapitre XXVII, chapitre traduit dans E. BALIBAR, *John Locke. Identité et différence. L'Invention de la conscience*, Paris : Seuil, 1998

des particules de matière qui constituent une plante, mais leur organisation – qui donne à cette plante tout au long de sa croissance la forme caractéristique de son espèce – et la vie commune à toutes ses parties. Ce que Locke appelle « organisation » équivaut à la forme aristotélicienne, mais il évite probablement le terme en raison de l'usage abusif qu'en a fait la scolastique. Au deuxième niveau, chez les animaux, s'ajoute le mouvement, qui diffère de celui d'une machine par son origine interne et par le fait d'avoir le même commencement que l'organisation qui caractérise l'animal. A ce niveau, l'homme possède la même identité que l'animal. Résumons cette identité du vivant dans les termes de Locke « tout simplement : la participation ininterrompue à la même vie entretenue par un flux permanent de corpuscules matériels, entrant à tour de rôle dans une unité vivante avec le même corps organisé »⁷.

Enfin, Locke introduit un troisième niveau par le cas particulier de l'identité personnelle : une personne est un être pensant et intelligent qui se considère comme une même chose pensante en différents temps et lieux, c'est-à-dire un être réflexif. Chez une personne, la conscience est indissociable de la pensée, car il est impossible de percevoir sans savoir qu'on perçoit. C'est cette conscience (consciousness) qui est la même chose (sameness). La portée de l'identité personnelle est donc la même que celle de la conscience, qui englobe jusqu'aux limites de nos souvenirs⁸.

Pour Leibniz, qui répond à Locke dans un dialogue fictif⁹, c'est lorsque nous ne distinguons pas deux choses par elles-mêmes que nous recourons à la différence entre leurs positions dans l'espace et le temps, mais en réalité elles doivent avoir quelque chose de distinct en soi. Le critère de distinction spatiale de Locke est basé sur l'hypothèse que la pénétration ou la superposition de deux corps n'est pas possible dans la nature. D'après Leibniz, cette hypothèse est raisonnable mais contingente car on pourrait imaginer un monde où deux corps seraient superposables de la même manière que deux ombres ou deux rayons de lumière. La localisation accompagne seulement la distinction sans en être un critère. Si deux individus étaient indistinguables par eux-mêmes, ce ne seraient pas des individus différents. Autrement dit, il ne peut pas y avoir dans la nature deux choses qui ne diffèrent que numériquement (*solo numero*).

7. LOCKE, *op. cit.*, chapitre XXVII, §6 texte cité dans BALIBAR, *op. cit.*

8. Ici nous comprenons que les souvenirs oubliés, que l'on ne peut pas atteindre, n'entrent pas en jeu dans l'identité. Il serait anachronique de parler d'inconscient à l'époque de Locke.

9. G. W. LEIBNIZ, *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, t. 2, Flammarion, 1921, pp. 182-198

Leibniz est tout à fait conscient du fait que cette interdiction n'est pas une interdiction logique¹⁰ car il n'est pas contradictoire de considérer deux choses identiques en elles-mêmes et pourtant distinctes par le temps ou l'espace ; cependant il estime que ce serait contraire à la sagesse divine car alors il n'y aurait aucune raison de les avoir créées dans l'ordre dans lequel elles sont plutôt que dans un autre, puisque rien ne les différencie. D'autre part, aucun effet ne pourrait être produit sur elles puisque traiter l'une d'une manière différente de l'autre n'aurait aucune raison, de sorte que l'effet n'aurait pas de cause, ce qui pour Leibniz est fondamentalement impossible (principe de raison suffisante). Seules les notions abstraites peuvent être identiques parce qu'elles sont incomplètes. Elles ne sont qu'un aspect de la multiplicité de choses qui différeraient par d'autres aspects si on les considérait dans la nature.

En réponse au cas particulier de l'organisation animale mentionné par Locke, Leibniz avance qu'elle ne suffit pas pour définir un être vivant, mais qu'il faut lui ajouter un principe de vie. En effet, il existe des corps dont toute la matière change sans que change la structure et dont on dit pourtant que ce n'est plus le même corps ; Leibniz donne l'exemple d'un fer à cheval en fer qui se change intégralement en cuivre lorsqu'il est plongé dans une certaine solution¹¹. Remarquons que dans ce cas, on a changé le type de matière dont est constitué le fer à cheval, alors que dans le cas des êtres vivants, bien que la matière soit sans cesse renouvelée, elle reste toujours du même type.

Précisons les raisons qui amènent Leibniz à ses conclusions. Selon lui, pour toutes les propositions vraies, le prédicat est toujours contenu dans le sujet¹² (même implicitement et même s'il faut une construction pour que cela devienne explicite). Toutes les propriétés des choses sont donc analytiques a priori ; Leibniz ne reconnaît pas qu'une construction puisse être synthétique a priori, comme ce sera le cas chez Kant. Ceci reste vrai même pour les vérités contingentes.

Il n'y a donc pas d'effet sans cause, sinon il y aurait une vérité non prouvable a priori. Il faut toujours pouvoir fournir une explication aux phénomènes, même pour les choses éternelles. C'est pourquoi toute différence doit avoir une raison, donc il n'y a pas d'indiscernables¹³.

Un autre moyen de le montrer est d'affirmer l'inexistence d'une dénomination purement extrinsèque qui n'aurait aucun fondement dans la chose dénommée. On pourrait se demander ce qu'il

10. Correspondance Leibniz-Clarke, 5ème écrit de Leibniz, § 21-25.

11. LEIBNIZ, *op. cit.*, §4

12. J.-B. RAUZY, *Recherches générales sur l'analyse des notions et des vérités*, Puf, 1998, p. 459–464, *Prima veritates*, C518

13. *ibid.*, p. C518

en est des caractéristiques relatives (la vitesse, la taille etc.) mais justement, Leibniz les place également dans la substance, ce qui implique que « toute substance singulière enveloppe dans sa notion parfaite l'univers tout entier »¹⁴. Dans cette optique, il n'existe pas de forces à distance, puisqu'on ne peut expliquer comment l'influence s'introduirait dans la substance de la chose mue. En réalité, toutes les choses sont en contact et exercent en chaque point des forces de proche en proche ; c'est pour cette raison qu'en chaque point, les mouvements induits par ces forces sont différents, donc qu'il n'existe pas deux points semblables dans toute la matière. Il n'y a pas de vide puisque, s'il y en avait, deux portions de vide ne seraient distinctes que par le nombre et ceci est absurde.

Leibniz s'oppose également à la conception atomiste pour cette raison que, les effets se transmettant de proche en proche, un indivisible ne peut subir aucun effet, car celui-ci devrait commencer par une de ses parties et gagner progressivement les autres. Et si l'on suppose que l'atome subit l'effet comme un tout, alors on ne pourrait distinguer de quelle source, parmi tous les essais environnants, vient le changement (par exemple, deux forces agissant respectivement depuis la gauche ou depuis la droite auraient le même effet) et dans ce cas, puisqu'on ne pourrait remonter à la cause, la condition que tout prédicat passé, présent et futur est contenu dans le sujet ne serait pas remplie¹⁵.

La substance vue par Leibniz non seulement est continue, mais ne comporte en outre aucune limite réelle ; les limitations entre les corps que l'on observe ne sont définies que par l'entendement¹⁶. De même, il n'y a pas de mort ni de naissance, mais seulement une transformation de ces limites que nous posons¹⁷. A propos de la substance des corps il dit que « [...] puisque les atomes sont écartés, il reste quelque chose de privé d'étendue, analogue à l'âme, et qu'on appelait autrefois forme ou espèce »¹⁸.

3.3 La position de Schrödinger

Schrödinger ne s'intéresse pas au critère lockien d'identité des corps, et il se peut qu'il ait prévu d'avance¹⁹ que ce critère ne pourrait s'appliquer à aucun des candidats au statut d'objets quan-

14. *ibid.*, C521, p. 462

15. *ibid.*, C521, p. 463

16. *ibid.*, C521, p. 464

17. *ibid.*, p. C523

18. *ibid.*, p. C523

19. D'après Michel Bitbol dans BITBOL, *op. cit.*, p. 231

tiques (onde, fonction d'onde, particule : tenter de les définir sur la base de leur trajectoire spatio-temporelle est une impasse²⁰). Quant au cas particulier de l'identité personnelle, Schrödinger le considère comme une illusion, conformément à la doctrine védique. Il n'évoque que brièvement la restriction Leibnizienne de l'identité des indiscernables, et ce d'une manière peu favorable²¹ : il l'attribue à une habitude linguistique et précise que ce principe n'est dans tous les cas que la surface d'un principe plus profond, le principe d'exclusion de Pauli. Pourtant il aurait pu trouver chez Leibniz de grandes similitudes avec sa propre vision du monde ; j'y reviendrai. En revanche, la direction dans laquelle Schrödinger oriente ses recherches, qui se fonde sur l'identité de forme ou de structure, peut être rapprochée du cas particulier lockien de l'organisation du vivant. Un raisonnement menant à cette conclusion sera exposé en fin de chapitre ; présentons pour le moment le processus d'analyse de Schrödinger.

Pour mettre en évidence une identité de structure, Schrödinger s'appuie sur des exemples macroscopiques comme celui d'un homme qui retrouve le chalet de son enfance²² : même si une grande partie de la matière qui constituait ce lieu dans son souvenir a changé (les pierres se sont usées ; les plantes, bien que de même aspect, ne sont plus les mêmes qu'à l'époque), il le reconnaît et l'identifie à son souvenir. Ce qui est conservé dans ce lieu, c'est bien la forme : l'organisation du terrain, l'architecture du chalet, etc. Il y a donc bien dans ce cas une identité de la structure partiellement indépendante de ses constituants (partiellement, car il est clair que, dans ce cas-ci, la structure ne peut exister sans que préexistent ses constituants : pas de maison sans briques ni de prairie sans plantes). Ou encore, Schrödinger se pose la question de savoir ce qui lui permet de reconnaître que le presse-papier en forme de Grand Danois qu'une amie lui a fait parvenir après la guerre est bien son presse-papier, qu'il avait abandonné lors de sa fuite d'Autriche et auquel il attachait une valeur sentimentale. Si on considérait que le Grand Danois est le même par sa matière, c'est-à-dire qu'aucun autre objet n'a exactement la même composition, ce ne pourrait être qu'au sens de la configuration de ses constituants (l'arrangement des atomes de fer et de carbone qui le composent). Mais dans

20. Une étude générale de cette question a été développée dans mon premier mémoire L'indéterminisme en mécanique quantique : querelles et alternatives. À propos des particules au sens corpusculaire en particulier, Schrödinger estime même qu'elles n'ont pas de trajectoire spatiale, ce qui ajoute au doute sur leur existence : « qu'est-ce qu'une particule qui n'a ni trajectoire ni trajectoire ni parcours ? » (“what is a particle which has no trajectory or no path?”, cité dans *ibid.*, p. 111.)

21. SCHRÖDINGER, *My View of the World*, p. 76

22. E. SCHRÖDINGER, *Science and Humanism - Physics in our time*, Cambridge University Press, 1951 ; référence citée dans BITBOL, *op. cit.*, p. 231

ce cas, il s'agirait d'une identité de structure et pas de matière à proprement parler²³. Schrödinger propose donc de le considérer comme identique par la forme, mais par sa forme particulière et non par sa forme spécifique, sinon il serait facile d'objecter que les presse-papiers de cette sorte peuvent être produits à la chaîne, de sorte que la même forme convient à tout un ensemble. Il faut que la restriction soit telle qu'il ne reste plus qu'un seul élément dans l'ensemble : son Grand Danois et aucun autre.

On trouve cependant chez Michel Bitbol²⁴ l'argument issu de Duns Scot selon lequel un ensemble d'un seul élément est pourtant toujours un ensemble et il est contingent et non nécessaire qu'il ne contienne qu'un seul élément, alors qu'on cherche un critère d'identité nécessaire. Que signifie en effet former une classe d'un seul élément ? C'est un processus de formation par précision progressive. Par exemple, pour isoler le Danois de Schrödinger d'autres Danois produits à la chaîne, il suffirait sans doute de se donner comme niveau de précision celui des petites entailles résultant du frottement, des reflets dénotant une hétérogénéité ou des légères déformations du métal survenues au moment de la confection. Toutefois, grâce à la technologie moderne, il est tout à fait possible de constituer, sinon deux presse-papiers, du moins deux plaques de métal dont la structure atomique est contrôlée à l'atome près et qui sont donc identiques en tout point (étant admis que les atomes sont identiques). Que se passe-t-il lorsque la description d'une classe est tellement précise qu'elle regroupe en fait toutes les caractéristiques qu'il est possible d'attribuer à un corps ?

Donner à tous les éléments d'un ensemble (peu importe qu'il y en ait plusieurs ou un seul) la même identité numérique fait disparaître la nature d'ensemble (on rassemble un ou plusieurs éléments comme « une même chose »), alors que leur attribuer la même identité spécifique conserve cette nature possiblement plurielle. Le problème est qu'on n'est jamais sûr d'avoir atteint, par précision progressive, la forme individuelle et non une forme spécifique. C'est en raison de cette difficulté que, depuis Aristote, on estimait la forme insuffisante pour caractériser l'individu et on y ajoutait d'autres critères comme la matière ou le mouvement²⁵.

Le problème se pose de la manière la plus aiguë à l'échelle quantique. Voyons comment Schrödinger illustre le passage de l'échelle macroscopique à l'échelle quantique par un troisième exemple,

23. *ibid.*, p, 230

24. *ibid.*, p, 229

25. STEVENS, *op. cit.*, pp. 1001-1002

celui d'une boîte de canifs suisses du même modèle²⁶. Ceux-ci peuvent être distingués les uns des autres par divers moyens qui sont propres à l'échelle macroscopique :

- on peut produire une distinction réelle entre eux, en dépliant une lame par exemple, sans que leur nature en soit modifiée;
- ils sont suffisamment séparés spatialement pour ne pas être confondus par les sens;
- plus important : si on mesurait leur masse avec précision, on trouverait de légères différences.

Schrödinger n'a sans doute pas choisi par hasard de mentionner ces trois différenciations car leur négation correspond précisément aux trois obstacles à l'établissement de critères d'identité à l'échelle quantique, soit respectivement : le problème de la mesure, le problème de la localité et celui de la coalescence.

Le problème de la mesure est caractérisé par le fait que l'observation d'un système quantique modifie sa nature d'une manière incontrôlable. A fortiori, il n'existe pas de moyen d'étiqueter une particule sans la modifier.

Le problème de la localité consiste en ce qu'il n'est généralement pas possible d'attribuer un lieu aux corps quantiques (si ce n'est en mesurant directement ce lieu et en le leur conférant par ce fait même). On considère que le corps se trouve dans l'ensemble des lieux pour lesquels la probabilité de s'y trouver est non nulle, or, si cette probabilité peut diminuer jusqu'à devenir négligeable, elle ne s'annule jamais. Tous les corps sont donc étendus dans tout l'espace (pour autant qu'ils n'interagissent pas), et parfois même avec une distribution de probabilités identique.

Quant au dernier point, concernant les légères distinctions individuelles, il permet d'introduire le problème de la coalescence au niveau quantique. En effet, on ne peut distinguer des particules de même espèce par une différence de masse (ni d'autres caractéristiques telles que la charge, la valeur absolue du spin, etc); en revanche, on peut distinguer par la masse des particules d'espèces différentes. Le terme de coalescence est surtout utilisé en physique des fluides, pour désigner le phénomène de réunion de deux portions d'un même liquide se trouvant à proximité l'une de l'autre, qu'on peut par exemple observer parmi les gouttes de pluie sur une vitre : lorsque leurs trajectoires se croisent, les gouttes fusionnent en une seule. Dans les fluides, il n'y a pas d'autre forme individuelle que la molécule ; au-delà, on peut seulement isoler une certaine quantité dans un récipient. Schrö-

26. E. SCHRÖDINGER, *The interpretation of quantum mechanics : Dublin seminars (1949-1955) and other unpublished essays*, sous la dir. de M. BITBOL, Woodbridge : Ox Bow Press, 1995, p. 99

dingier étend le terme de coalescence à l'unification d'un grand nombre de particules du même type en un seul tout. La différence avec les fluides est qu'ici on ne trouvera aucune forme individuelle. En outre, des particules ne coalescent que si elles ont la même forme spécifique (par exemple, des électrons, des muons, des photons,...) tandis que deux fluides de forme spécifique différente peuvent coalescer. Dans ses notes pour le séminaire de 1949²⁷, Schrödinger montre que l'individuation des corps quantiques est impossible. Les particules forment un tout qui engendre des observables, c'est-à-dire des variables dont la valeur peut être obtenue par l'observation²⁸, et seules ces observables possèdent une individualité. Celle-ci est donc émergente et tenter de la définir au niveau inférieur n'a aucun sens. Schrödinger insiste sur le fait que le caractère global des observables ne peut pas être ignoré. L'expérience de pensée consistant à isoler une particule et à lui conférer des observables est non seulement irréalisable en pratique mais fautive. Elle entraîne la fautive idée qu'une seule particule est un morceau identifiable de matière, et donc que la matière est composée de particules.

Dans un premier temps, Schrödinger affirme que seules les observables peuvent être appelées « matière au sens des philosophes »²⁹, c'est-à-dire au sens des éléments ultimes qui composent les corps. Puisque la matière n'est plus rien d'autre que l'ensemble des variables, elle ne se distingue plus de la forme mais elle conserve la fonction d'unifier ces variables en une certaine unité qui définit de quelle type de particule il s'agit.

3.4 Un Leibnizien qui s'ignore

On retrouve de nombreuses similitudes entre la conception de Schrödinger et celle de Leibniz. Une première est l'absence de limites réelles entre les corps, celles-ci n'étant faites que par l'esprit à partir d'un continu dont chaque partie est inextricablement liée avec tout le reste par ses interactions (dans le cas des particules, par intrication). Une deuxième est l'impossibilité qu'il existe deux choses individuelles absolument identiques : pour Leibniz, si deux choses nous semblent indiscernables, elles doivent être discernables en soi, et, pour Schrödinger, si deux choses sont indiscernables

27. *ibid.*, p. 99

28. En mécanique classique, une observable est une fonction à valeur réelle de l'ensemble de tous les états possibles du système. En mécanique quantique, c'est un opérateur, c'est-à-dire une application entre deux espaces vectoriels topologiques, qui se réduit à une valeur (valeur propre) lorsqu'une propriété de l'état du système est déterminée par une suite d'opérations physiques (une mesure).

29. SCHRÖDINGER, *loc. cit.* «This coalescence gives rise to complicated observables — they are matter in the meaning of the philosopher.»

(et il n'y a plus de différence entre en soi et pour nous), elles ne font qu'une³⁰. Tous deux en tirent par ailleurs une opposition à l'atomisme.

A première vue, la justification de leur conviction diffère : si elle repose explicitement sur une raison théologique chez Leibniz, celle de Schrödinger est un peu moins claire. Certes, comme on l'a dit, il pourrait accepter le principe d'identité des indiscernables sous la forme du principe d'exclusion de Pauli, mais celui-ci ne concerne qu'une partie de la classification des particules (seulement les fermions et non les bosons), de même que la statistique de Fermi-Dirac évoquée dans ce passage³¹. En réalité, la vraie justification de l'identité des indiscernables chez Schrödinger est probablement sa position philosophique subjectiviste. En effet, pour distinguer des indiscernables, on pourrait introduire l'hypothèse de variables cachées, mais Schrödinger refuse celles-ci en vertu du principe positiviste de maximalité (c'est-à-dire ne rien supposer qui dépasse notre connaissance). Cependant, on peut se demander pourquoi il adhère à ce principe positiviste. Son subjectivisme est particulier en ce qu'il se fonde sur la doctrine de l'Esprit unique qui, par définition, ne peut rien contenir qu'il ne connaisse pas. En remontant ainsi dans ses principes, on retrouve une motivation par la spiritualité commune avec Leibniz, à cette différence près que Schrödinger assume le caractère hypothétique de sa conviction, ce qui ne peut être le cas chez Leibniz en raison de l'imprégnation chrétienne de son époque.

Enfin, une dernière similitude entre les deux auteurs se trouve dans le passage de Leibniz cité plus haut³² selon lequel la substance des corps est la forme et non la matière étendue. Au regard de tout ceci, on peut se demander pourquoi, malgré leur proximité sur des points essentiels, Schrödinger ne se réfère jamais à Leibniz, et s'il était seulement conscient de cette ressemblance.

De manière moins évidente, on peut constater une similitude entre la définition de l'identité formelle de Schrödinger et le cas particulier d'identité du vivant de Locke. Rappelons que cette dernière est basée sur l'organisation, c'est-à-dire sur la possibilité d'isoler le comportement d'une structure par rapport à ceux de ses constituants. Or, chez Schrödinger, on trouve une indépendance totale de la structure par rapport à ses constituants puisque les observables qui émergent de la coalescence des particules ne dépendent pas de caractéristiques propres à ces dernières, ni du détail

30. *ibid.*, p. 99

31. *idem*, *My View of the World*, p. 76

32. RAUZY, *op. cit.*, C523, pp. 459-464

de cette coalescence. L'accent est donc mis par les deux auteurs sur le niveau émergent. C'est à ce niveau que sont à imputer les comportements de l'ensemble : il s'agit d'une causalité top-down. Il n'est d'ailleurs même pas possible de définir une causalité à l'échelle des particules, puisque celles-ci n'ont pas d'identité, et que la causalité présume une distinction entre ce qui agit et ce qui subit, donc un critère de différenciation.

Faire ce rapprochement revient à étendre le critère d'identité du vivant à celui des corps, ce qui mène à se demander si l'intention qui accompagne le vivant est également étendue aux corps dans ce processus. Le monde serait alors constitué de structures agissant par elles-mêmes et pour elles-mêmes (possédant comme les êtres vivants une conscience non-thétique). Ceci n'est pas complètement absurde lorsqu'on pense que pour Schrödinger, tous les corps se réduisent ultimement à des modes de la conscience universelle.

3.5 Influence des présupposés ontologiques sur l'épistémologie schrödingerienne

La vision du monde de Schrödinger est indéniablement un retour au continu, influencé par son ontologie préexistante d'un Esprit unique. Dans cette optique, en effet, tout s'éclaire et prend sens grâce au fait que c'est l'esprit qui crée toutes les identités de forme. En outre, le problème de l'unité de la conscience au travers de la multiplicité de ses fonctions est résolu « dès lors que la racine de cette unité directement éprouvée, qui mène à l'hypothèse du Soi, est transférée à l'unité métaphysique, l'unicité essentielle de la conscience en général »³³. L'exclusivité de l'identité formelle va de pair avec l'ontologie de l'Esprit unique. Dans le cadre d'un réalisme épistémologique, par exemple, qui suppose aussi l'existence d'une matière support des caractéristiques formelles, l'identité formelle ne suffirait pas, comme nous l'avons montré plus haut. Réciproquement, la doctrine de l'Esprit unique ne peut admettre d'autre identité que celle de la forme parce que toute référence à une matière serait contradictoire puisqu'une matière serait contenue dans une forme (la conscience).

D'autre part, pour se permettre de supprimer la fonction propre de la matière (servir de support à des attributs), Schrödinger doit réfuter la distinction entre substantia et accidens, ce qu'il

33. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 34

fait en l'attribuant à une habitude linguistique de séparation du sujet de la phrase et de ses attributs³⁴. Pourtant, il y a là une insuffisance logique, puisqu'il considère lui-même que le langage est apparu par imitation de perceptions (tendance innée à reproduire une action par la position de la langue, onomatopées qui sont à l'origine d'un grand nombre de mots)³⁵. Il faut donc supposer que la structure sujet-attribut du langage est une interprétation erronée de la réalité, du fait que les choses macroscopiques nous apparaissent comme constituées de supports pouvant recevoir différentes qualités. Nous prendrions conscience de cette erreur par l'observation du niveau quantique.

34. *ibid.*, p. 76

35. *ibid.*, p. 77

THÉORIE DE LA CONNAISSANCE

4.1 Introduction

Ce chapitre portera sur les éléments de théorie de la connaissance développés par Schrödinger. Il est important de préciser que la théorie de la connaissance est plus large que l'épistémologie, laquelle se restreint à l'étude des méthodes scientifiques et des critères de scientificité. Lorsque Schrödinger s'interroge sur la nature des objets communs, quotidiens, cela relève de la théorie de la connaissance, comme toute interrogation sur les conditions de possibilité subjectives et objectives de la connaissance en général. Cette distinction est importante car si l'épistémologie est reconnue comme légitime par les positivistes comtiens, ceux-ci tentent en revanche de priver la science de tout élément de théorie de la connaissance, avec un succès dont il est permis de douter.

4.2 Le rôle de la science

Schrödinger est un homme engagé dans la science. Il exprime son point de vue dans de nombreuses conférences (dont les notes préparatoires sont si complètes qu'elles peuvent être publiées), et c'est sans doute aussi la défense de ce point de vue qui le pousse à écrire ses livres, toujours parsemés de remarques sur la science actuelle¹.

Il est souvent à contre-courant par rapport aux normes de son temps, par exemple lorsqu'il critique la description de domaines distincts par des théories distinctes, en physique, en signalant

1. En particulier dans le premier article de E. SCHRÖDINGER, *Physique Quantique et Représentation du Monde*, sous la dir. de J. LADRIÈRE et al., Paris : Seuil, 1992, Volume contenant la traduction française de *idem*, *Science and Humanism - Physics in our time*, traduit de l'anglais par Ladrière, J., ainsi que celle de E. SCHRÖDINGER, « Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik », in : *Naturwissenschaften* 23.48 (1935), traduit de l'allemand par de Jouvenel, F., Bitbol-Hespériès, A. et Bitbol, M.

que cette séparation « aboutit à une pensée vague, arbitraire et obscure »², alors que la mécanique quantique semble rendre cette séparation inévitable aux yeux des physiciens de l'époque. Plus généralement, il déplore la spécialisation académique, à l'heure où la séparation des domaines est de plus en plus cloisonnée (pour aboutir au résultat désastreux qu'on lui connaît aujourd'hui)³. Certes, cette spécialisation est selon lui nécessaire pour progresser, ce qui en fait un mal inévitable, mais elle n'empêche pas qu'un même homme s'intéresse à plusieurs domaines et « [ose] réfléchir, parler et écrire sur des questions qui requièrent plus que l'entraînement spécial pour lequel ils sont "partentés" »⁴. Il prône en somme la curiosité universelle. Il précise bien : « une recherche n'a de valeur réelle que dans le contexte de la totalité intégrée du savoir »⁵.

Dans une époque qui voit naître avec la mécanique quantique la branche de leur science que les physiciens ont encore aujourd'hui beaucoup de mal à rendre accessible aux inexperts, Schrödinger pose la vulgarisation comme une épreuve du feu : il faut être capable d'expliquer (à longue échéance) ce que l'on a fait à n'importe qui, sinon notre activité aura été vaine⁶.

Enfin, dans un contexte où la physique semble toute-puissante, et semble même être la science ultime, Schrödinger fait part de sa méfiance quant à la capacité de la physique à répondre à la question de la conscience, alors qu'il n'entretient pas la même méfiance sur ce point à l'égard de la biologie⁷. Sa propre curiosité dans des domaines variés l'amène très certainement à disposer d'un certain recul vis-à-vis de la physique, et à en tempérer les prétentions.

4.3 Conditions de la connaissance

La méthode scientifique est la façon grecque de comprendre le monde. Schrödinger reprend cette thèse du philologue et historien de la philosophie Theodor Gomperz, en opposition sur ce point avec Mach. En effet, Mach pense, à tort d'après Schrödinger, que l'influence de l'Antiquité n'est plus que « vestiges rares et pauvres » et qu'il suffit de la négliger et de l'ignorer pour la dépasser.

Notre culture a progressivement acquis une totale indépendance, et a pris un essor qui l'a élevée bien au-dessus de celle de l'Antiquité. Elle emprunte une voie entièrement nouvelle. Son centre

2. *idem, Physique Quantique et Représentation du Monde*, p. 13

3. *ibid.*, p. 27

4. *ibid.*, p. 28

5. *ibid.*, p. 28

6. *ibid.*, p. 29

7. *ibid.*, p. 71

organisateur réside dans les lumières de la science et des mathématiques. Les traces des idées de l'Antiquité, qui trainent encore en philosophie, dans la jurisprudence, dans les arts et dans les sciences, constituent plus des obstacles que des avantages. Ces traces deviendront impossibles à maintenir à long terme, face au développement de nos propres conceptions⁸.

On peut supposer une légère confusion dans ce texte entre la science et la technique, puisque celle qui influence effectivement notre culture est plutôt la seconde, en déplaçant nos priorités et en accélérant notre rythme de vie. En revanche, les citoyens ne montrent pas spécialement plus d'intérêt pour la science fondamentale de nos jours qu'au temps de l'Antiquité (peut-être même moins). Toujours est-il que Schrödinger critique plutôt dans cette conception le fait de considérer l'affranchissement de la culture grecque comme spontané et déjà presque achevé.

Gomperz propose quant à lui, pour s'affranchir de cette influence culturelle trop puissante, de bien la connaître car ce n'est qu'ainsi que nous pourrions voir à quel point elle est étendue :

Non seulement l'influence [des penseurs grecs] s'étend sur nous par l'intermédiaire de leurs successeurs antiques ou modernes ; mais l'ensemble de notre pensée : les catégories dans lesquelles elle se meut, les formes de langage dont elle se sert (et qui par suite la gouvernent), tout cela est en grande mesure un produit artificiel et avant tout la création des grands penseurs du passé. Si nous ne voulons pas prendre le devenu pour le primordial, l'artificiel pour le naturel, nous devons nous efforcer de connaître à fond le processus de ce devenir⁹.

Schrödinger a dû reconnaître dans cette conception sa propre conviction, exposée dans *My View of the World*, que certains éléments essentiels de notre pensée (par exemple la distinction sujet-objet) ne sont que des habitudes de langage (ici, des habitudes culturelles). Peut-être est-ce cette lecture qui lui a inspiré l'ardeur avec laquelle il s'est lancé dans l'étude des penseurs grecs – dont témoigne son livre : *La Nature et les Grecs* – ou peut-être y a-t-il simplement reconnu les mêmes centres d'intérêt que les siens.

À propos de la science grecque, Schrödinger conteste certaines de ses orientations, sans la rejeter entièrement. Il s'oppose plus précisément à deux principes qu'il lui attribue¹⁰.

Le premier est la garantie que « le déploiement apparent de la Nature peut être compris ». Il place d'abord ce principe en opposition avec le spiritualisme et la pensée magique. Or, à partir de « la grande découverte de David Hume » (selon laquelle la relation de causalité n'est rien de plus que l'habitude de la succession), ce principe est contesté par les physiciens de la science contemporaine,

8. E. SCHRÖDINGER, *La Nature et les Grecs*, sous la dir. de M. BITBOL et Bitbol-Hespériès A., Paris : Seuil, 1992, p. 138, p. 199, traduction de E. SCHRÖDINGER, *Nature and the Greeks*, Cambridge University Press, 1954

9. Texte français extrait de la traduction A. REYMOND, *Les Penseurs de la Grèce*, t. 1, Paris : Payot, 1928, p. 71 de Gomperz, T.. Citation reprise dans SCHRÖDINGER, *La Nature et les Grecs*, pp. 137-138

10. *ibid.*, p. 200

comme Mach, Heisenberg ou Pauli, qui renoncent à la recherche d'explication et décident de ne viser qu'une description complète et efficace. Schrödinger reconnaît cette démarche comme légitime et la considère comme une troisième voie entre pensée magique et confiance naïve en la possibilité de connaissance. En effet, renoncer à la compréhension de la Nature ne fait pas retomber dans la superstition, mais mène au contraire à chasser de la physique les reliques de l'animisme, comme la notion de force. Selon ses dires : « Le positivisme est un antidote salutaire contre la témérité avec laquelle les physiciens sont enclins à croire qu'ils ont compris un phénomène alors qu'ils n'ont fait en réalité que se saisir des faits en les décrivant. »¹¹.

Cependant, il ne s'accorde pas sur tous les plans avec les physiciens positivistes, puisqu'il ajoute la phrase suivante : « Pourtant il me semble que, même d'un point de vue positiviste, on ne devrait pas déclarer que la science ne porte aucune compréhension en elle. » Il en veut pour preuve le fait qu'il existe des relations factuelles entre les découvertes de domaines très différents du savoir, ou bien qui ramènent ces découvertes aux notions générales les plus fondamentales (comme celle de nombre naturel). Il maintient que certaines théories, telles que la thermodynamique ou l'évolution darwinienne, nous apportent une réelle compréhension, ce qui n'est pas le cas de la mécanique quantique – bien qu'elle soit prometteuse.

Le deuxième principe de la science grecque que cite Schrödinger est le fait de simplifier à l'extrême et inconsciemment un problème scientifique en s'en retirant soi-même en tant que sujet de la connaissance. On l'appelle souvent « l'hypothèse du monde réel qui nous entoure ». Cette hypothèse, comme développé au second chapitre, simplifie selon lui la compréhension du monde, mais pose le problème de la nature de notre perception.

Le choix de Schrödinger de citer ces deux principes comme ceux de la science est remarquable car ils ne relèvent pas de l'épistémologie, mais plutôt de la théorie de la connaissance, au contraire des principes que l'on cite habituellement à cet effet : réfutabilité, reproductibilité, etc., qui sont notamment revendiqués par Popper.

Lorsque Schrödinger rejette ces deux principes de théorie de la connaissance, il n'indique pas par quoi les remplacer. Pour ce faire, on peut se référer à son ontologie, puisque la théorie de la connaissance est indissociablement liée à l'ontologie. On pourrait proposer : « les constructions

11. *ibid.*, p. 200

produites par la science sont le reflet des pensées de l'Esprit unique », par exemple. Quoi qu'il en soit, il est impossible de faire de la science sans la fonder sur des règles de ce type, même si elles sont implicites. Par exemple, pour les positivistes, l'interdiction de s'avancer sur des questions qui ne sont pas vérifiables par l'expérience est une règle appliquée à la science et relevant de la théorie de la connaissance, même si elle est implicite et n'est pas reconnue comme telle. Le rasoir d'Occam, si cher aux yeux de Schrödinger et accepté par l'ensemble de la communauté scientifique, est une règle qui relève d'un domaine encore plus large, puisqu'elle dérive directement de l'ontologie. En effet, elle exige simplement de ne pas supposer plus d'étants qu'il n'en est strictement nécessaire. Elle a d'ailleurs son antécédent antique : le principe de parcimonie, d'ores et déjà utilisé par Aristote pour critiquer la duplication ontologique de Platon. On peut se demander pourquoi cette règle-là, bien que tout aussi extérieure à l'épistémologie, ne semble déranger personne, alors qu'on fait tant de cas des deux autres règles citées par Schrödinger.

Par ailleurs, il est étonnant de la part de Schrödinger de qualifier ces dernières de « grecques », sachant que les grecs étaient déjà divisés sur le sujet. Par exemple, le subjectivisme épistémologique de Protagoras, datant de la fin du cinquième siècle avant J.-C. et qui a eu beaucoup d'influence par la suite, repose sur l'idée que « L'homme est la mesure de toute chose ; de celles qui sont, qu'elles sont, et de celles qui ne sont pas, qu'elles ne sont pas. »¹². En d'autres termes, il est impossible d'atteindre une connaissance objective et toute connaissance doit toujours être rapportée à l'homme. On peut aussi mentionner les divers scepticismes de Cratyle, de Pyrrhon, d'Épicure... De ces courants, le positivisme n'est pas si loin (on pourrait même le dire très proche du subjectivisme pratique).

Toujours est-il qu'en s'opposant au réalisme (puisque c'est ce courant que caractérisent les deux principes de « la science grecque ») et, sur certains points, au positivisme, Schrödinger introduit donc une nouvelle manière d'appréhender le monde, qui se comprend plus clairement par analogie.

Michel Bitbol décrit en effet la position épistémologique de Schrödinger par analogie avec l'évolution du rapport à la réalité des courants artistiques picturaux majeurs. Tout d'abord se placent en correspondance les courants classiques (au sens large, comprenant aussi le romantisme, le naturalisme, etc.) avec une épistémologie réaliste : le tableau est le plus fidèle possible à la réalité, la toile et les matériaux de peinture doivent disparaître en devenant une fenêtre par laquelle on contemple

12. Fragment 1 de l'édition Diels-Kranz des Présocratiques.

le monde. De la même façon, l'image du monde que se fait l'observateur réaliste (celle de la science grecque) doit être aussi ressemblante que possible avec ce monde, et l'observateur doit s'en effacer. Ensuite, en réaction à cela, se développent le courant moderne et l'épistémologie positiviste. Dans le modernisme, la recherche de ressemblance avec la réalité n'est que secondaire, voire disparue, tandis que l'importance du support est exacerbée : le style fait tout l'art, en déformant complètement le modèle ou en s'en passant pour s'adresser directement au sentiment pur. On retrouve cette absence de souci de représenter la réalité dans l'image du monde que se fait un observateur positiviste. Enfin, un troisième courant qui s'inspire des deux autres tout en s'en affranchissant est le post-modernisme, qui correspond à l'opinion mature de Schrödinger et à la conception qualifiée de quasi-réalisme par Blackburn¹³. Le post-modernisme (des surréalistes par exemple) distingue en effet le sujet de l'œuvre de sa représentation : les règles de perspective et d'ombrages sont classiques, mais l'œuvre ne prétend pas représenter la réalité telle qu'elle est. Schrödinger, de même, ne pense pas que la science soit une manière de représenter un réel indépendant, mais il exige d'y maintenir des règles, « comme si » c'en était une. Nous avons une obligation de réalisme en pratique, même si l'arrière-plan de la théorie de la connaissance est idéaliste¹⁴. Par exemple, la science doit permettre de se constituer une image mentale complète (sans prétendre que cette image mentale soit celle d'un réel indépendant). Elle doit construire des modèles à des fins de compréhension.

Cependant, ces modèles sont plutôt dits adéquats que vrais car, pour être vrais, ils devraient pouvoir être comparés directement avec les faits, ce qui n'est pas possible¹⁵. Selon Schrödinger, dire d'un modèle qu'il est vrai est plus proche du non-sens (d'un cercle triangulaire) que ne l'est un lion ailé¹⁶. D'autre part, l'adaptation de la pensée à la connaissance étant selon lui un processus probablement infini, un « modèle parfait » serait aussi impossible qu'un « entier le plus grand »¹⁷.

Les modèles sont des constructions, et ils ne sont pas seuls à l'être : en effet, trouver une construction mentale claire et adéquate revient pour Schrödinger à créer le même type de construction que celle des choses qu'on appelle « objets réels », puisque ces derniers n'ont pas de réalité en dehors de la conscience¹⁸. À ceci près que la construction des choses est installée dans la petite enfance,

13. S. BLACKBURN, *Essays in Quasi-realism*, Oxford University Press, 1993 Référence reprise dans BITBOL, *op. cit.*, p. 50

14. *ibid.*, p. 21

15. SCHRÖDINGER, *Physique Quantique et Représentation du Monde*, p. 41

16. *ibid.*, p. 45

17. *ibid.*, p. 93

18. BITBOL, *op. cit.*, p. 22

et récapitulée inconsciemment à chaque perception par l'adulte. Il est important de préciser que l'intention de Schrödinger n'est pas d'assimiler les actes mentaux responsables de la création de ces deux constructions, mais d'en identifier seulement les résultats. Michel Bitbol met en garde contre le double sens du mot « construction » (désignant soit le processus soit le produit fini) en distinguant parmi les procédés de construction d'une part la construction scientifique, qui est une construction logique ou symbolique explicite, et d'autre part la construction des choses quotidiennes, qui s'est effectuée implicitement par agglomération de perceptions. La construction scientifique est un procédé intellectuel, alors que celle des choses est un processus en partie inconscient¹⁹. On peut ajouter que le procédé de construction, parce qu'il est étendu dans le temps, fait partie de l'illusion de temporalité des consciences individuelles, alors que la construction achevée est un reflet des pensées de l'Esprit unique, ce qui lui donne un autre statut.

Quant à la valeur des constructions (et nous utiliserons dorénavant ce mot pour désigner le produit fini), Schrödinger fait remarquer que si les constructions quotidiennes communes sont si importantes qu'on appelle leurs invariants des « objets réels », alors il n'y a pas de raison de ne pas accorder le même statut de réalité aux invariants des entités scientifiques²⁰. C'est pour cette raison qu'il défendra dans un premier temps le statut de réalité de la fonction d'onde dont je parlerai à la fin de ce chapitre.

Les corps construits sont obtenus par un processus de complexification en deux étapes :

- formation d'événements : des complexes de sensations, d'éléments d'imagination correspondant aux attentes que l'on a par rapport à l'objet, et d'éléments intellectuels;
- formation de complexes d'événements pour rassembler les différents aspects d'un corps.

Comme développé plus haut, un complexe est autonome par rapport à ses constituants. Schrödinger le justifie ici par le fait que, lorsque les sens ne perçoivent plus les sensations, le complexe persiste²¹. Cela implique que la permanence *réside* dans le complexe. Celui-ci est insensible à l'ajout ou au retrait d'une perception individuelle.

L'assimilation de la chose familière à la construction scientifique implique à la fois que la première soit falsifiable et que la seconde soit basée sur l'expérience quotidienne. Cette opinion affaiblit

19. *ibid.*, p. 207

20. *ibid.*, p. 223

21. SCHRÖDINGER, « What is an elementary particle? », pp. 109-116 cité dans BITBOL, *op. cit.*, p. 186

donc l'importance de l'objet principal dans chacune des opinions épistémologiques reposant sur ces constructions (respectivement le réalisme et l'idéalisme).

À propos du processus de mise en place des constructions scientifiques, Schrödinger se conduit comme un peintre post-moderne respectant les règles de perspective : il introduit une exigence de clarté et de non-contradiction dont il trouve l'inspiration chez Boltzmann²². Pour satisfaire ces exigences, Schrödinger insiste sur la nécessité de produire une image, une représentation du phénomène physique étudié. Cette image n'est pas un simple outil, et bien qu'elle ne soit pas forcément un reflet parfait des faits, elle est aussi un but en soi²³. C'est précisément ce point qui interdit toute réconciliation entre Schrödinger et les positivistes. Cette opinion est en revanche partagée par Boltzmann, qui l'exprime élégamment en ces termes : « [L'étoile du Berger des physiciens] n'était pas l'utilité pratique mais l'image de la nature dans l'intellect »²⁴. C'est l'importance de l'image qui a amené Schrödinger à formuler la mécanique ondulatoire alors qu'il était conscient de l'existence de la mécanique matricielle, qui repose pour lui sur une « algèbre transcendante ».

D'après Michel Bitbol, la raison pour laquelle Schrödinger tentait de maintenir des images était sa conviction que le monde et l'image du monde sont une seule et même chose²⁵. Modifier le cadre spatio-temporel des images comme le faisait le principe d'indétermination d'Heisenberg en interdisant la possibilité de représentation, par exemple, revenait pour Schrödinger à modifier celui du monde.

4.4 Épistémologie de la fonction d'onde

La fonction d'onde est au centre du débat épistémologique de la mécanique quantique et elle a d'abord été le cheval de bataille de Schrödinger qui la considérait comme l'objet quantique réel (avec les restrictions que l'on sait sur la réalité des choses du monde). Au cours de l'année 1926, Schrödinger modifie légèrement sa conception²⁶ en considérant plutôt la densité de charge électrique (ob-

22. *ibid.*, p. 83

23. E. SCHRÖDINGER, « Die Besonderheit des Weltbilds der Naturwissenschaft », in : *Acta Physica Austriaca* 1 (1948), p. 201–245 ; traduit de l'anglais dans : E. SCHRÖDINGER, *On the peculiarity of the scientific world-view. What is life? and other essays*, Doubleday anchor, 1957. Référence citée dans BITBOL, *op. cit.*, p. 77

24. *ibid.*, p. 77 : « [The guiding star of the physicists] was not practical gain but the picture of nature within the intellect », issu de : L. BOLTZMANN, *Theoretical physics and philosophical problems*, B. Mac Guinness, Reidel, 1974

25. BITBOL, *op. cit.*, p. 79

26. *ibid.*, p. 8

tenue directement à partir de la fonction d'onde²⁷) comme réelle, la fonction d'onde n'étant qu'un concept intermédiaire. En 1928, enfin, devant l'évidence que la fonction d'onde ne peut convenir à notre structure spatio-temporelle (car elle s'exprime généralement dans plus de trois dimensions spatiales), Schrödinger semble se résigner à l'interprétation de Copenhague. Cependant, ce n'est pas une authentique résignation mais une suspension de ses affirmations précédentes qu'il effectue pour pouvoir continuer ses recherches. En 1935, il conclut que le domaine où il convient de chercher la solution au problème du statut de la fonction d'onde n'est pas le domaine de la physique quantique. En effet, la liste des résultats possibles d'une expérience (c'est-à-dire la fonction d'onde) ne peut être obtenue par la mécanique quantique seule, car les opérateurs nécessaires sont tirés de la physique classique²⁸. Les faits sont définis en dehors du modèle ondulatoire et liés indirectement à ce modèle par des règles de correspondance probabilistes empiriques (celles de Born).

Pour comprendre son approche, il peut être utile de reprendre les termes d'Hermann Wimmel²⁹ et de dissocier le domaine des états de la fonction d'onde et le domaine des faits. Le premier est décrit par le « modèle Ψ », c'est-à-dire le formalisme quantique, qui n'est pas une description des faits. Le second est décrit par le « modèle F », un « modèle (réaliste) de description des faits [...] qui contient et emploie des faits et des événements directement observables »³⁰. Il ne s'agit pas uniquement d'une collection de faits, qui ne serait pas un modèle, car le modèle F contient également la structure des observables. On peut dire que l'essentiel de la mécanique classique est contenu dans le modèle F.

Dans cette conception, le formalisme quantique ne décrit pas les faits. L'évolution des états de la fonction d'onde et celle des attributions de valeurs aux instruments sont parallèles, sans aucune communication entre elles. L'atome, élément du modèle Ψ , n'acquiert pas ses propriétés après la mesure puisqu'il ne subit pas d'influence de la part du modèle F. En revanche, la construction du modèle Ψ est régie par le modèle F dans son ensemble. En retour, le modèle Ψ apporte l'information nécessaire pour comprendre le modèle F.

Ces deux modèles sont parallèles et non complémentaires (comme les modèles ondulatoire et corpusculaire d'après le principe de complémentarité de Bohr); en effet ils ne sont pas conjointe-

27. Soit Ψ la fonction d'onde, q la charge électrique de la particule considérée et r la position, la densité de charge est donnée par : $\rho(r) = q \cdot |\Psi(r)|^2$

28. BITBOL, *op. cit.*, p. 249

29. H. WIMMEL, *Quantum physics and observed reality*, World Scientific, 1992 repris dans BITBOL, *op. cit.*, p. 172

30. WIMMEL, *op. cit.*, p. 25 repris dans BITBOL, *op. cit.*, p. 173

ment indispensables à l'élaboration d'une description exhaustive. Ils sont en revanche mutuellement exclusifs : ils ne partagent aucun élément.

La tentative préalable de Schrödinger de formaliser une réduction du paquet d'onde était une réduction du modèle F au modèle Ψ , mais il abandonne définitivement ce réductionnisme en 1950, pour le remplacer, selon Bitbol, par un parallélisme³¹. Ainsi, le problème de la mesure ne se pose plus car, lorsque la fonction d'onde change du tout au tout à l'issue d'une mesure, cela ne reflète pas un changement dans les faits, puisque le modèle F n'en est pas affecté, et certainement pas un changement de nature de l'objet quantique qui d'onde deviendrait brusquement particule. On peut d'ailleurs se demander ce qu'est devenu l'objet quantique, puisqu'il ne réside pas dans les faits bruts (le modèle F), ni dans le modèle Ψ , dont la fonction d'onde varie trop pour représenter un corps de nature définie. Il ne reste en guise d'objet quantique qu'une image, contenue dans le modèle Ψ et de nature ondulatoire, mais qui ne prétend pas refléter la moindre réalité indépendante objective. Cette description ondulatoire apporte, non pas une compréhension du monde, mais une compréhension des faits observés et de leur dépendance mutuelle; en d'autres termes elle permet d'atteindre la vérité *pour nous*³².

Ce parallélisme s'inscrit comme une nouvelle possibilité pour sauver la cohérence de la physique, celles-ci étant donc au nombre de trois selon Bitbol :

le monisme « conservateur » : conserver la notion de corps matériel au prix de certains ajustements (adoptée par Born et Bohm, c'était également l'approche de Penrose avec l'hypothèse du « Physical collapse », récemment invalidée par l'expérience);

le dualisme lâche : changer de paradigme seulement pour le niveau microscopique, c'est-à-dire introduire une séparation totale de ce niveau par rapport au niveau macroscopique (« lâche » signifiant que la limite peut fluctuer). Le problème de cette approche, adoptée par Bohr, est le statut des appareils de mesure, qui doivent être décrits dans les deux paradigmes (quantique et classique);

le parallélisme ontologique : ne pas utiliser les mêmes notions en pratique et en principe.

Schrödinger avait adopté une démarche proche de celle-ci, bien qu'il n'en ait pas clairement exprimé la double universalité (celle de la pratique réaliste pour les choses courantes et celle de

31. *ibid.*, p. 272

32. *ibid.*, p. 153

l'ontologie quasi-réaliste pour la physique moderne).

D'autres possibilités peuvent y être ajoutées, pour mieux situer Schrödinger en prenant également en compte des approches plus récentes :

la supposition d'incomplétude : refuser les ajustements ontologiques et considérer simplement la théorie comme incomplète et devant encore faire ses preuves (approche d'Einstein dans l'article EPR³³);

le monisme « innovateur » : par exemple l'interprétation relationnelle qui consiste à repenser le corps matériel comme étant porteur de caractéristiques principalement relatives plutôt qu'absolues. Cela revient à reporter la majorité des propriétés quantiques sur l'interaction entre systèmes plutôt que sur les systèmes eux-mêmes (approche de Carlo Rovelli³⁴);

la « blown up ontology » : plus qu'un monisme ou un dualisme, une théorie des mondes multiples, introduite à partir de la théorie d'Everett (mais qui en est bien distincte, cette dernière tenant plus d'un monisme « innovateur », au sens où elle modifie complètement la nature des corps pour en faire une sorte de gelée floue adoptant plusieurs possibilités à la fois); (approche adoptée par les physiciens d'Oxford, les cosmologues quantiques et une petite majorité des théoriciens des cordes)³⁵.

Ce n'est pas une liste exhaustive, car les possibilités sont nombreuses, du fait de l'absence de consensus à la fois épistémologique et ontologique influant sur les critères de cohérence et de complétude requis pour la physique.

Remarquons que Schrödinger s'inscrit également dans l'approche relationnelle pour certains aspects en reconnaissant un relativisme de la science³⁶. En effet, certains éléments sont relatifs à la position ou à l'intérêt de l'observateur et aux bases culturelles et historiques de la communauté scientifique. Schrödinger défend cette opinion sous le nom de subjectivisme pratique. Par extension et selon son idée que les faits scientifiques ne sont que des constructions, il devrait étendre le relativisme à ces constructions, c'est-à-dire au modèle F entier, conformément à l'interprétation relationnelle. Cependant, il ne se risque pas aussi loin parce qu'il a trop peur, selon Bitbol, des consé-

33. A. EINSTEIN, R. PODOLSKY et N. ROSEN, « Can Quantum Mechanical Description of Reality Be Considered Complete? », in : *Phys. Rev.* 47 (1935), p. 777

34. C. ROVELLI, « « Sky is blue and birds fly through it » », in : *Philos. Trans. Royal Soc* (2017)

35. D'après le cours de philosophie de la physique de Carlo Rovelli, pour le M1 de philosophie et histoire des sciences fondamentales : mathématiques et physique.

36. BITBOL, *op. cit.*, p. 286

quences instrumentalistes. En outre, son exigence de pouvoir former des représentations sous forme d'images pourrait aussi être ancrée dans notre culture, excluant ainsi la possibilité de comprendre rationnellement les résultats. Ce n'est pas ce que défend l'interprétation relationnelle, qui n'interdit pas la distinction entre la représentation de l'objet et le corps, mais c'est une conséquence inévitable pour Schrödinger, qui ne fait pas cette distinction.

En définitive, puisque Schrödinger a trouvé l'interprétation de la fonction d'onde qui lui convient pour résoudre le problème de la mesure, il peut adresser avec d'autant plus de pertinence les critiques qu'il a toujours destinées à la théorie quantique. En d'autres termes, puisque Schrödinger a résolu ses propres incohérences, c'est au tour des défenseurs de l'interprétation de Copenhague de justifier les incohérences de leur position.

QUANT À LA QUERELLE QUANTIQUE

L'opinion générale de Schrödinger sur la mécanique quantique est qu'il y subsiste des problèmes, découlant d'objections qui ont été enterrées plutôt que résolues¹. L'exemple qu'il présente comme un camouflage d'objections est celui du principe de complémentarité introduit par Bohr. Ce dernier, face aux propositions apparemment incompatibles d'Heisenberg et de Schrödinger, respectivement les interprétations corpusculaire et ondulatoire, propose un compromis. Les deux interprétations seraient en fait des aspects complémentaires d'un même objet quantique, à la fois onde et particule (et non pas onde ou particule), mais ne se présentant que sous un seul de ces aspects à la fois. Il applique cette même démarche de complémentarité aux aspects mutuellement exclusifs des descriptions « causale »² (respectant la conservation de l'énergie et de l'impulsion) et spatio-temporelle (conservant une détermination stricte de la position des corps dans l'espace-temps)³.

Schrödinger dénonce la croyance dans le fait que la complémentarité résout tous les problèmes d'interprétation et que seuls les calculs doivent encore avancer. L'Histoire lui a donné raison, puisqu'aujourd'hui subsistent encore des divergences d'interprétation malgré l'avancée des calculs. Il attribue la volonté de se débarrasser des problèmes d'interprétation au fait que la philosophie soit devenue démodée. Effectivement, le fait de parler de modes n'est pas sans pertinence dans le cadre de la recherche scientifique en général (il y a des domaines très « à la mode » en physique, comme la théorie des cordes et la supersymétrie, mais également dans d'autres sciences, par exemple la génétique du comportement en biologie). Il est également probable qu'existaient, déjà à l'époque, des raisons politiques de déconsidérer la philosophie pour son caractère d'inutilité technique évident.

1. SCHRÖDINGER, *The interpretation of quantum mechanics : Dublin seminars (1949-1955) and other unpublished essays*, p. 102

2. Qualification utilisée dans BITBOL, *op. cit.*, p. 242. Bohr indique que la description « causale et illustrée de la mécanique classique » repose sur les lois de conservation mentionnées ici.

3. N. BOHR, *Essays 1958-1962 on atomic physics and human knowledge*, Ox Bow Press, 1987, p. 11, cité dans BITBOL, *loc. cit.* Je reviendrai sur cet aspect mutuellement exclusif dans l'introduction technique ci-dessous.

Schrödinger, lui, est conscient de la non-séparabilité de la physique par rapport à la philosophie. Il considère que la philosophie est aux sciences ce que la science théorique est à la science expérimentale⁴. Il ajoute à cela que certains aspects du monde sont exclus de la science par convention (ses valeurs éthique et esthétique), et on reconnaît là le départ de sa réflexion ontologique. Cependant, s'il place dans le rejet de la philosophie la source des problèmes de la mécanique quantique, cela ne l'empêche pas de mettre en évidence plusieurs points d'incohérence physique. Dans ce chapitre, ces points seront repris un à un, en terminant par la question de l'interprétation de la théorie, et de la fonction d'onde en particulier. Pour une meilleure compréhension, je commencerai par définir quelques termes techniques.

5.1 Préliminaire technique

Il n'est pas question ici de faire un exposé détaillé, mais simplement de rappeler trois concepts principaux utilisés dans le formalisme quantique.

Un premier concept essentiel est celui d'état : il rassemble toutes les déterminations possibles pour un système quantique, et peut être mathématiquement décrit dans de nombreuses situations par une fonction à valeurs complexes⁵. Celle-ci est ce qu'on appelle la fonction d'onde, notée Ψ . L'expression de cette fonction n'est pas simplement une somme des expressions de variables caractéristiques de l'état comme la position ou la vitesse, elle décrit plutôt l'état complet de façon holiste.

Un second concept essentiel est celui d'observable : il peut être décrit mathématiquement par un opérateur agissant sur la fonction d'onde⁶ (signalé par une majuscule et/ou par le port d'un accent circonflexe) et qui en tant qu'observable, illustre une quantité physique. Par exemple, l'opérateur impulsion est défini par une dérivée exécutée sur la fonction d'onde : $\hat{P} = h/2\pi \cdot \frac{\partial}{\partial x}$. Une fonction d'onde est dite « état propre » (*eigenstate*), ou « fonction propre », d'un opérateur lorsque l'effet de l'application de l'opérateur sur cette fonction d'onde est équivalent à une simple multiplication par une constante. Par exemple, pour l'opérateur impulsion, lorsqu'il existe une constante réelle P_0 telle que :

$$\hat{P}\Psi = h/2\pi \cdot \frac{\partial\Psi}{\partial x} = P_0 \cdot \Psi$$

4. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 124

5. De façon générale, un état est un vecteur dans un espace de Hilbert.

6. Un opérateur auto-adjoint défini sur un espace de Hilbert.

La constante P_0 est appelée « valeur propre » (*eigenstate*) de l'opérateur ; elle correspond à la valeur adoptée par la quantité physique correspondante lors d'une mesure effectuée sur un système se trouvant dans l'état propre. L'équation qui établit la relation entre opérateur, état propre et valeur propre est qualifiée d'équation aux valeurs propres.

Troisièmement, L'évolution de l'état dans le temps est gouvernée par l'équation de Schrödinger où apparaît l'opérateur hamiltonien \hat{H} associé à la quantité physique énergie :

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi$$

Un état propre d'énergie vérifie l'équation : $\hat{H}\Psi = E\Psi$.

L'un des principes fondamentaux de la mécanique quantique est le principe d'incertitude de Heisenberg⁷, formulé initialement sous la forme : $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2\pi}$. Dans une interprétation statistique de la mécanique quantique, ce Δx qui ressemble à un écart type classique représente la dispersion des résultats de mesure effectués sur le même état Ψ . Par la suite, c'est cette interprétation qui sera étudiée dans ce travail car c'est celle de Schrödinger et la plus répandue à l'époque. De façon plus générale, pour deux observables A et B et leurs opérateurs correspondants \hat{A} et \hat{B} :

$$\Delta A \cdot \Delta B \geq \frac{1}{2} \left| \langle [\hat{A}, \hat{B}] \rangle_{\Psi} \right|$$

Ici, l'écart type ΔA est calculé relativement à la moyenne quantique : $\sqrt{\langle \hat{X}^2 \rangle_{\Psi} - \langle \hat{X} \rangle_{\Psi}^2}$ où $\langle \rangle_{\Psi} = \langle A \rangle_{\Psi} = \langle \Psi | A | \Psi \rangle$ est la moyenne quantique, interprétée cette fois comme l'étalement de la mesure effectuée avec un même état Ψ (ce qui sous-entend que toute la distribution a une valeur de réalité en tant que telle et non seulement en tant que probabilité). $[\hat{A}, \hat{B}]$ est le « commutateur » de \hat{A} et \hat{B} , c'est-à-dire $\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}$, dont le résultat n'est pas forcément nul pour certaines paires d'opérateurs⁸. Si c'est le cas, on dit de ces opérateurs qu'ils sont non-commutatifs.

La signification physique de cette expression est plus claire en l'écrivant ainsi : $\Delta A \geq \frac{\text{scalaires}}{\Delta B}$ car on voit alors immédiatement que, selon l'interprétation statistique, si la précision sur la mesure d'une grandeur est très bonne (ΔB est très petit), la précision sur la mesure de la grandeur appariée

7. Ce principe peut également être appelé « principe d'indétermination » ; j'utilise ici la terminologie de Schrödinger (*uncertainty*).

8. Deux opérateurs sur un espace de Hilbert ne commutent pas toujours.

sera très mauvaise (ΔA est très grand). Bien sûr, si les opérateurs correspondant aux deux grandeurs commutent, le scalaire sera nul et on retombe sur l'évidence qu'un intervalle de précision doit être positif. C'est seulement si les opérateurs ne commutent pas qu'apparaît le caractère restrictif du principe. Les expériences quantiques (en particulier l'expérience des fentes de Young) nous portent à croire que ce principe doit être interprété non comme une incertitude mais comme une indétermination, c'est-à-dire que le manque de précision n'est pas dans notre connaissance, mais dans la valeur effective de la grandeur considérée. La grandeur n'est pas bien définie; elle est « floue » (« blurred »).

La paire de grandeurs indéterminées simultanément que l'on évoque le plus souvent est la paire position-impulsion.

5.2 L'incertitude

Schrödinger constate : « Il y a une réelle difficulté dans l'interprétation de l'incertitude ou du caractère statistique de l'information à extraire de la fonction d'onde⁹. Une difficulté qui ne peut être résolue par la "philosophie positiviste" »¹⁰.

Il s'intéresse surtout à l'incertitude entre position et impulsion, dans le cadre de laquelle il propose une expérience de pensée. Soit une particule dont on mesure la position en A avec précision. L'impulsion de cette particule est alors indéterminée (elle pourrait a priori se diriger dans n'importe quelle direction avec n'importe quelle vitesse). Supposons maintenant que l'on mesure à nouveau la position de la particule une seconde plus tard, et qu'elle se trouve en B. Il semble alors que l'on soit en capacité d'attribuer « post factum » une impulsion à la particule au moment de la première mesure, en divisant simplement la distance parcourue par le temps de parcours et en lui attribuant une trajectoire en ligne droite entre les deux positions. Toutefois, cela reviendrait à briser le principe d'incertitude.

C'est cette difficulté qui ne peut être résolue par la « philosophie positiviste », qui préconise de ne rien supposer sur l'existence des choses lorsqu'elles ne sont pas observées. Or, cette difficulté peut

9. Schrödinger, en employant les termes « incertitude » et « caractère statistique », utilise les concepts relatifs à l'époque, dans le cadre de l'interprétation statistique.

10. « There is a real difficulty in interpreting the uncertainty or the statistical character of the information to be extracted from the wave function. A difficulty which cannot be explained away by "positivist philosophy" », SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 104

être résolue par une affirmation ontologique : ce n'est pas la même particule que l'on a détectée en A et en B. Elle n'est pas passée de A à B, pour la bonne raison qu'elle n'avait pas d'existence propre entre les mesures. En d'autres termes, les particules sont la manifestation, lors d'une mesure, de quelque chose qui n'est pas corpusculaire en dehors de la mesure. En effet, une nature corpusculaire impliquerait d'être passé de A à B en suivant une trajectoire, à moins de remettre totalement en question la notion d'impulsion¹¹.

Cette réponse a le mérite de montrer qu'on ne peut se passer de philosophie pour résoudre certains paradoxes de la théorie quantique, mais elle ne permet pas de conclure sur la question du sens de l'indétermination. Sans doute, dans le cas de la paire position-impulsion, la relation d'incertitude écrite plus haut ne se présentera jamais pour Schrödinger, du fait que la position ne fait pas partie des caractéristiques de ses fonctions d'onde répandues dans tout l'espace. De même pour la paire énergie-temps, par exemple, car il préconise l'abandon du concept d'énergie à cette échelle, comme nous le verrons plus loin. Toutefois, les relations d'indétermination s'appliquent également à d'autres paires de grandeurs, pour lesquelles la question reste ouverte.

On retrouve ce type d'utilisation des paradoxes impliquant l'indétermination dans son célèbre paradoxe du chat, destiné, selon Michel Bitbol, à prouver que la fonction d'onde ne peut être interprétée de façon réaliste¹². Là encore, Schrödinger laisse irrésolu (et non traité) le paradoxe logique que l'on peut tirer de la supposition d'une indétermination, en l'occurrence : la possibilité d'être à la fois une chose et son contraire, en même temps et sous les mêmes rapports. En effet, en supposant que l'état de l'atome radioactif est indéterminé (et non pas incertain), on suppose par conséquent que l'état du chat l'est également, c'est-à-dire que l'on accepte qu'il se trouve à la fois dans l'état « mort » et dans l'état « vivant », ce qui contrevient au principe logique de non-contradiction. Ce paradoxe révèle la difficulté de passer d'un comportement quantique à un comportement classique.

L'indétermination reste donc bel et bien un problème ouvert de la mécanique quantique, indirectement dénoncé par Schrödinger.

11. C'est aussi une possibilité, qu'il ne développe pas, mais qui pourrait conduire à l'interprétation relationnelle de la mécanique quantique, en considérant l'impulsion comme une propriété d'interaction.

12. BITBOL, *op. cit.*, p. 149

5.3 L'identité et l'unité

La façon dont Schrödinger définit l'identité dans le cadre quantique a déjà été abordée au chapitre précédent. J'aimerais à présent tirer des conclusions sur la nature de la transformation demandée par rapport à la définition classique. Elle peut être interprétée comme un changement d'unité sur deux plans différents.

Premièrement, un nouveau type d'unité au sens de « mise ensemble » apparaît : lorsque des éléments séparés sont mis en commun, ils ne sont pas simplement accolés mais doivent être pris comme un tout. Cette caractéristique se trouvait déjà dans la coalescence des gouttes d'eau. En revanche, lorsque l'on sépare une goutte d'eau, on peut toujours dire quelle partie de la goutte a été dirigée vers un côté ou l'autre de la séparation : on peut ré-identifier chaque portion d'eau car la séparation n'était que l'actualisation d'une limite en puissance. Dans le cadre quantique en revanche, la possibilité même d'une limite est impensable. Si on arrive à isoler deux corps quantiques, non seulement ils ne seront pas identifiables (si les deux corps étaient subitement échangés, on ne s'en rendrait absolument pas compte) mais ils ne seront pas non plus devenus indépendants puisqu'il sera toujours possible de les englober dans une seule fonction d'onde. Leur unité ne se restreint pas à en faire un continu, elle rend également ce continu insécable. Chaque type de particule (électrons, photons,...) est rassemblé dans une unité de ce type.

Deuxièmement, on peut définir un nouveau type d'unité au sens de plus petit élément de décompte. La mécanique quantique trouve en effet son origine dans la théorie des quanta de Planck. Celui-ci, pour modéliser le rayonnement du « corps noir » (un objet théorique émettant un rayonnement électromagnétique¹³ corrélé à sa température), constate qu'il est adéquat de discrétiser les transferts d'énergie. Tout se passe comme si l'énergie du corps noir était transférée par petits paquets indivisibles. Einstein leur verra par la suite une réalité physique en tant que corpuscules, dans son article sur l'effet photoélectrique¹⁴, ce qui donnera lieu à l'interprétation corpusculaire de la mécanique quantique. Toutefois, que les quanta soient hypostasiés ou non, l'idée originelle de la quantification est celle d'une nouvelle unité d'énergie d'interaction, de valeur h (constante de

13. Par exemple : de la lumière. C'est le cas des étoiles, dont la grande majorité correspond au modèle d'un « corps noir ».

14. A. EINSTEIN, « Concerning an Heuristic Point of View Toward the Emission and Transformation of Light », in : *American Journal of Physics* 33.5 (1965)

Planck). On peut citer en exemple le spectre d'émission d'un gaz que l'on chauffe : les fréquences de la lumière émise sont discrètes, et correspondent aux modes propres de l'opérateur hamiltonien, c'est-à-dire aux états propres stationnaires de $\hat{H}\Psi = \hat{E}\Psi$, qui sont en l'occurrence les états propres de l'équation de Schrödinger. L'énergie, quantifiée, saute d'état stationnaire en état stationnaire comme s'il n'était possible de la compter que par unités d'une certaine valeur précise.

5.4 Les sauts quantiques

Cette expression était utilisée à l'époque pour désigner la transition entre les niveaux d'énergie de l'atome, que l'on voyait comme un « saut » d'une orbitale (sorte de couche électronique) à une autre, les orbitales étant plus ou moins éloignées du noyau en fonction de leur niveau d'énergie qui les affranchit plus ou moins fortement des forces atomiques. L'irruption d'un photon dans la zone occupée par un électron peut résulter en une absorption d'énergie qui « excite » l'électron, c'est-à-dire qui le fait passer au niveau d'énergie supérieur. Schrödinger est formellement opposé à cette idée depuis l'origine : il refuse la description de l'atome en termes d'énergie. Il fait remarquer que les concepts d'énergie macroscopique et microscopique (ou plus exactement : classique et quantique) sont différents : le premier est un concept quantitatif alors que le second est qualitatif (ou intensif)¹⁵. En effet, les particules sont considérées comme des « parcelles d'énergie », alors que classiquement, on peut aussi peu parler de parcelle d'énergie que de parcelle de vitesse, par exemple. On pourrait dire que l'énergie quantique n'est plus un attribut, elle est une substance. Ou plutôt, d'après l'idée présentée au chapitre précédent, les notions d'attribut et de substance se sont fondues en une seule au regard de l'énergie.

De ce fait, la discrétisation de l'énergie entraîne la discrétisation de « parcelles » donc une interprétation corpusculaire, à laquelle s'oppose Schrödinger. L'une des raisons pour lesquelles il s'y oppose et qu'il utilise dans ce contexte est le principe de parcimonie : puisqu'on constate inévitablement le caractère ondulatoire des objets de la théorie quantique (qui se manifeste dans tous les phénomènes d'interférences), il est plus économique de chercher des explications ondulatoires aux autres phénomènes que d'y ajouter un caractère corpusculaire¹⁶. Pour cette raison, il se pro-

15. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 25

16. *ibid.*, p. 31

nonce contre l'idée que l'énergie des électrons atomiques est discrétisée et propose de remplacer ce concept par celui de fréquences atomiques, ou modes propres de vibration. La qualification de « modes propres » est issue du formalisme de la seconde quantification.

Un second argument contre l'idée de sauts quantiques est le principe d'indétermination lui-même, lorsqu'il est appliqué à la paire énergie-temps¹⁷. Il en résulte que la question « quelle est l'énergie d'un système à un certain instant » n'a pas de sens, donc qu'il n'est pas possible de savoir si l'électron d'un atome passe continûment ou par saut d'une orbitale à l'autre. En outre, cela implique qu'à un instant donné, les niveaux d'énergie sont trop peu précis pour pouvoir être distingués entre voisins, c'est-à-dire que l'ensemble se réduit à un continu¹⁸.

Enfin, considérer l'existence d'une orbitale définie comme la probabilité de trouver l'électron dans une certaine région de l'espace suppose la possibilité de faire cette observation. Or, il n'existait alors aucune expérience qui permette de chercher un électron à une certaine distance de l'atome¹⁹. Schrödinger fait remarquer l'ironie de défendre cette interprétation de la part d'une école de pensée qui prétendait ne parler de rien qui ne soit pas observable.

L'interprétation qu'il propose permet d'expliquer l'interaction entre l'électron d'un atome et un photon incident par un phénomène de résonance entre les fréquences propres des deux systèmes (notés 1 et 2)²⁰. En partant d'une loi de résonance classique :

$$v_1 - v'_1 = v_2 - v'_2$$

On peut interpréter les deux fréquences (distinguées par l'apostrophe) de chaque système non pas comme caractérisant l'état du système avant et après interaction, mais comme présentes simultanément de manière plus ou moins marquée en fonction de l'interaction. La prépondérance d'une fréquence n'est pas à interpréter en termes d'amplitude, comme ce serait le cas dans le cadre classique, mais plutôt dans les termes du formalisme de la seconde quantification, c'est-à-dire en tant que proportion du mode propre dans un espace de Hilbert.

La seconde quantification est issue de l'incorporation au formalisme quantique de la loi issue de

17. BITBOL, *op. cit.*, p. 97

18. Michel Bitbol signale que cet argument a été contesté récemment à partir de la nature d'opérateur de l'énergie; cependant, que cela n'enlève rien à l'argument qu'il n'y a toujours aucune indication en faveur des sauts quantiques.

19. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 21

20. *ibid.*, p. 25

la relativité restreinte selon laquelle l'énergie et la masse sont des concepts équivalents ($E = mc^2$). Puisque l'énergie est soumise au principe d'indétermination, c'est-à-dire que sa valeur présente la forme d'une distribution statistique à un instant donné, c'est également le cas de la masse. Or, puisque la masse est une caractéristique *essentielle* des particules, elle ne peut varier que si le nombre de particules lui-même varie. En seconde quantification, le nombre de particules présentes dans un certain état n'est donc pas constant, il est une observable comme les autres. Travailler dans ce formalisme revient à jeter un regard nouveau sur les systèmes étudiés. Les états possibles (rassemblés dans un espace mathématique libéré des caractéristiques géométriques de l'espace : un espace de Hilbert) sont considérés comme des « boîtes », appelées « modes propres », que l'on remplit avec le nombre de particules disponible en fonction de la probabilité de chaque état. En chimie, les grandeurs étudiées permettent un traitement de modes propres discrets, mais en physique, ce formalisme est beaucoup plus abstrait puisque les modes propres peuvent être continus (lorsqu'ils correspondent à l'impulsion, par exemple, ou à n'importe quelle autre grandeur continue).

D'une certaine manière, le fait que Schrödinger utilise ce formalisme est étonnant, car son abstraction ne permet pas vraiment de se représenter le comportement des objets étudiés : on ne sait pas au juste ce que cela veut dire d'interpréter la prépondérance d'une fréquence comme la probabilité du nombre de particules se trouvant dans cet état propre, alors que la description est censée être uniquement ondulatoire. Certes, ce nombre de particules n'est pas bien défini, mais plutôt interprété comme une distribution, donc assez proche d'une description continue. Mais surtout, l'avantage de la seconde quantification pour Schrödinger est qu'elle supprime la distinction entre fermions et bosons, indissociablement liée à une interprétation corpusculaire.

Cette distinction provient à l'origine du principe d'exclusion de Pauli, découvert géométriquement par les difficultés de placement d'électrons dans les niveaux d'énergie. Ensuite, de l'énergie, il a été étendu à n'importe quel état d'un corps quantique. Le résultat est le suivant : pour une certaine catégorie de particules (que l'on appelle les fermions), il est impossible d'en trouver deux de même nature dans le même état. Par exemple, si deux électrons d'un atome sont dans le même état d'énergie, ils doivent être dans un état différent pour au moins une de leurs autres caractéristiques définies ; on propose généralement qu'ils aient un spin de signe opposé. Il existe néanmoins une autre catégorie de particules pour laquelle le fait de se trouver dans le même état est permis :

les bosons. Le photon, par exemple, est un boson ; le principe même du laser est de produire une grande quantité de photons dans le même état. La différence de comportement de ces deux catégories de particules est parfaitement décrite par deux traitements statistiques différents d'un gaz de particules, à savoir la statistique de Fermi-Dirac pour les fermions et celle de Bose-Einstein pour les bosons. Toutefois, elle ne peut être appliquée que beaucoup plus difficilement à des ondes pour lesquelles un traitement statistique ne convient pas. La statistique de Bose-Einstein est notamment responsable de l'évolution du concept de quantum d'énergie d'unité discrète au sens de Planck en corpuscule au sens d'Einstein, forçant l'interprétation corpusculaire par un formalisme adapté à la description d'un gaz de particules.

Or, dans le formalisme de la seconde quantification, les deux catégories sont directement encodées dans la définition des espaces de Hilbert utilisés : les modes propres sont soit limités à 0 ou 1 élément, soit libres de contenir une infinité d'éléments. À partir de là, on peut retrouver les mêmes formules que celles des statistiques de Bose-Einstein et Fermi-Dirac sans supposer de gaz de particules discrètes. La seconde quantification est une façon de jeter un autre regard sur la théorie, qui convient beaucoup mieux à Schrödinger.

En revanche, comme on l'a dit, elle rend plus abstraite l'interprétation des états d'énergie comme fréquences propres, et en particulier en situation d'interaction ou lorsque plusieurs états d'énergie distincts sont possibles. Hors interaction, pour l'atome d'hydrogène par exemple, le parallèle est simple : les états propres d'énergie ne varient dans le temps que par une phase, or, en physique, deux états qui ne diffèrent que par une phase sont le même état. Les états propres sont donc stationnaires, ce qui permet de les identifier aux états stationnaires des ondes classiques : une succession de « nœuds » et de « ventres » que l'on peut former avec une corde vibrante et que l'on retrouve sous la dénomination d'harmoniques en musique. Visuellement, la corde vibrante fournit une très bonne image, qu'il suffit d'étendre à trois dimensions pour obtenir une représentation du phénomène. Toutefois, dans des cas plus complexes où il y a plus d'un état d'énergie possible, dont les phases, différentes, ne peuvent être factorisées en une seule, l'évolution de ces états au cours du temps n'est pas stationnaire. De manière imagée : le contenu des « boîtes » (des modes propres) se transfère aléatoirement de l'une à l'autre au cours du temps. Pour prendre un exemple, considérons un photon lancé sur un atome, dont on ne mesure pas s'il est absorbé ou non. L'énergie de l'atome

oscille donc entre plusieurs niveaux possibles, tandis que le photon oscille entre « être absorbé » et « ne pas être absorbé ». Cette variation de pondération des niveaux d'énergie comme entre des vases communicants n'est d'ailleurs que spéculative, car si l'on savait réellement ce qu'il en était (si on pouvait définir une équation de ce transfert), on pourrait prédire avec certitude le résultat de la mesure, or celui-ci reste aléatoire.

On peut conclure de tout cela que Schrödinger se résigne à une certaine abstraction. Toutefois, mathématiquement, il maintient que son formalisme permet une description complète des phénomènes habituellement décrits par des sauts de niveaux d'énergie. Il en donne pour exemple l'expérience suivante²¹ : un faisceau de rayons cathodiques (d'électrons) de vitesse uniforme et contrôlable est envoyé au travers d'un gaz de sodium. Ensuite, il passe dans un champ magnétique à l'intérieur duquel la déviation des particules révèle leur vitesse (les particules rapides sont moins déviées que les particules lentes). En parallèle, un spectromètre capte une éventuelle radiation du gaz de sodium. Lorsque la vitesse initiale dépasse une limite très précise, deux événements se produisent : le sodium commence à rayonner et le faisceau se divise en deux dans le champ magnétique. L'interprétation en termes de niveaux d'énergie de ce phénomène est celle-ci : la vitesse atteinte correspond à l'énergie minimale d'interaction avec le sodium ; une partie des électrons incidents cède donc aux atomes de sodium une certaine quantité de leur énergie cinétique, toujours identique, équivalente à la différence entre deux niveaux d'énergie atomiques. De ce fait, la vitesse d'une partie des électrons seulement est réduite d'une quantité fixe, ce qui les dévie d'une quantité fixe également dans le champ magnétique. Le sodium, en se désexcitant, réémet ensuite cette énergie sous forme de rayonnement. Si on augmente encore la vitesse, à partir d'un deuxième seuil très précis, un troisième degré de déviation apparaît dans le champ magnétique, attestant du franchissement du deuxième niveau d'excitation de l'atome de sodium.

L'interprétation proposée par Schrödinger pour l'existence de la première limite est la suivante : pour que les électrons incidents et les atomes entrent en résonance, il faut que l'équation $v_1 - v'_1 = v_2 - v'_2$ soit satisfaite ; or cela nécessite d'atteindre une fréquence v_1 supérieure ou égale ($v_2 - v'_2$), puisqu'une fréquence ne peut être négative. La quantité ($v_2 - v'_2$) est la différence entre les deux premières fréquences propres du sodium. La seconde limite est expliquée de

21. *ibid.*, p. 27

la même façon en ajoutant une troisième fréquence à l'égalité. La séparation des deux rayons est due au fait que l'indice de réfraction au changement de milieu (du gaz de sodium à l'air) dépend de la fréquence du rayonnement; la déviation reflète donc la répartition du rayonnement dans deux modes propres, deux fréquences propres. Le rayonnement capté par le spectrophotomètre n'est pas émis par le sodium mais par le vide magnétique de Maxwell (champ magnétique toujours présent, quoique normalement de valeur nulle, dans tout l'espace), excité par la résonance. L'électrodynamique (c'est-à-dire théorie de Maxwell-Lorentz) donne l'intensité et la polarisation de la lumière émise²². On n'évoque plus cette solution de nos jours, probablement parce que la description en termes de niveaux d'énergie est jugée plus satisfaisante.

Certes, Schrödinger reconnaît une utilité à l'image des niveaux d'énergie pour les réactions complexes traitées en chimie²³. Cependant, on ne doit y voir qu'une instance du fameux « comme si » présent par ailleurs dans toute la chimie (par exemple dans la théorie des valences).

5.5 La relativité quantique

La mise en accord de la mécanique quantique avec les théories de la relativité est toujours l'un des enjeux théoriques les plus importants en physique contemporaine. Le lien avec la relativité restreinte est supposé avoir été fait par la théorie quantique des champs, mais celle-ci présente de nombreux défauts d'approximation qui lui donnent un aspect « bricolé » (comme le fait d'ignorer des sommes infinies dans ses procédés de renormalisation). Quant au raccord avec la relativité générale, la physique théorique en est toujours à proposer diverses théories concurrentes incomplètes.

À son époque déjà, Schrödinger fait remarquer que l'équivalent relativiste de son équation, formalisé par Dirac, n'est valable que pour un seul électron²⁴. Il attribue également à une possible conséquence de la non-relativité du formalisme tous les effets d'intrication²⁵ (le fait que la manière dont on établit la fonction d'onde d'un système dépende du programme d'observation d'un autre système, qui peut être très éloigné).

Aujourd'hui encore, la mécanique quantique et la relativité générale restent inconciliables et

22. BITBOL, *op. cit.*, p. 69

23. SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 30

24. *ibid.*, p. 30

25. *idem*, « Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik », pp. 807-812, pp. 823-828, pp. 844-84939 cité dans BITBOL, *op. cit.*, p. 65

aucune des théories qui tentent de les unifier n'est aboutie.

5.6 Le problème de la mesure

L'appellation « problème de la mesure » désigne habituellement le fait que la mesure d'un opérateur dont on connaît la distribution statistique produit un résultat choisi parmi cette distribution de manière absolument aléatoire, donnant l'apparence d'un effet sans cause. La réduction de cette distribution en une seule valeur a fait l'objet d'une tentative de description par Schrödinger, retenue sous le titre de « réduction du paquet d'onde » (*wave-packet collapse*) par d'autres physiciens, mais abandonnée ensuite par Schrödinger pour diverses raisons physiques (notamment le fait qu'elle prédise une trop rapide dispersion du paquet d'onde²⁶).

Il présente le problème de la mesure selon un autre point de vue, en l'abordant sous un aspect de connotation moins corpusculaire, qui n'implique pas de traitement statistique mais dont le résultat est équivalent : en dehors de toute mesure, on décrit l'évolution de la fonction d'onde par une équation de propagation temporelle bien connue. Or, lors de la mesure, on considère tout d'un coup que cette équation de propagation n'est plus valable, puisqu'on ne peut pas prédire le résultat. Schrödinger considère comme un manque de cohérence interne le fait que d'autres lois que les lois habituelles de la nature puissent être en vigueur pendant une mesure²⁷ : « Si l'on accepte cette loi – et cette loi est universellement admise – on doit s'y tenir. Elle ne doit pas être occasionnellement enfreinte par un homme exécutant une mesure »²⁸. Ceci amène une autre raison d'être suspicieux par rapport à la réduction du paquet d'onde, à savoir qu'il se produise toujours de la même façon quelle que soit l'approche : « il y a généralement plus d'une méthode pour mesurer la même chose ; il y en a souvent une longue liste. Il est très improbable qu'elles aient toutes le même effet sur l'objet physique en question »²⁹.

À ceci on pourrait répondre que la réduction du paquet d'onde est une nouvelle loi, et que la

26. SCHRÖDINGER, *The interpretation of quantum mechanics : Dublin seminars (1949-1955) and other unpublished essays*, p. 30

27. *idem*, *Physique Quantique et Représentation du Monde*, p. 116

28. « If one accepts this law – and it is universally accepted as a general law – one must stick to it. It must not be occasionally infringed upon by a man making a measurement. », *idem*, *The interpretation of quantum mechanics : Dublin seminars (1949-1955) and other unpublished essays*, p. 83 cité dans BITBOL, *op. cit.*, p. 128

29. « there is usually more than one method for measuring the same thing, there is often a long list of different methods. It is highly improbable that they should all have the same effect on the physical object in question. », SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 82 cité dans BITBOL, *loc. cit.*

physique contient des lois différentes pour l'évolution des particules ou pour la mesure. Mais si l'on accepte que c'est le cas (et c'est notamment la position de Bohr), il est difficile de déterminer à quel niveau du processus de mesure situer le changement de lois³⁰ : est-ce à l'interaction entre l'instrument et le corps considéré ou bien est-ce au moment où un observateur doué d'une conscience constate le résultat de la mesure (possibilité envisagée notamment par Von Neumann)? Jusqu'ici, on a considéré que la limite était arbitraire, mais placer une limite arbitraire n'est pas bien raisonnable concernant un changement de lois de la nature.

Schrödinger soumet comme un exemple de paradoxe de la mesure une idée basée sur la possibilité en principe de mesurer à la fois la position et l'impulsion avec une précision suffisamment faible pour éviter de contrevenir au principe d'incertitude. Dans le contexte des deux mesures successives utilisé comme exemple à la section 1, on pourrait alors mesurer à la fois la position et l'impulsion avec une précision relativement faible en B , et obtenir deux grandeurs : p_B l'impulsion en B et $\frac{m \cdot |AB|}{t}$ l'impulsion moyenne sur le segment AB . Puisque la particule ne subit aucune force, son accélération devrait donc être nulle et ces deux quantités équivalentes. Or, l'impulsion B et $\frac{m \cdot |AB|}{t}$ donne aussi une information sur l'impulsion en A , alors que la mesure de la position y était très précise, donc l'impulsion supposément très mal définie. Cette « antinomie » s'ajoute à la liste des arguments contre l'interprétation probabiliste de la mécanique ondulatoire : d'après Schrödinger, ce qui produit ce résultat est « la règle selon laquelle à la mesure, la validité de l'équation d'onde est momentanément suspendue et la fonction d'onde change abruptement d'une façon qui n'est pas contrôlée par – voire parfaitement en opposition avec – l'équation d'onde; dans notre cas : la réduction de l'onde sphérique entière en une petite parcelle d'onde. C'est ainsi qu'on obtient – de deux façons différentes – une précision sur l'impulsion qui entre en conflit avec la précision sur la position obtenue en A : en violant les principes de la mécanique ondulatoire. »³¹. Si on se passe en effet de considérer la mesure comme une réduction de la fonction d'onde, et que l'on combine à cela le fait que le nombre de particules équivalentes à une onde n'est pas fixe, on peut résoudre la situation ainsi : la particule mesurée en A n'est pas la même que celle que l'on mesure en B ; les

30. *ibid.*, p. 265, p. 269

31. « the ruling that on measurement the validity of the wave equation is momentarily suspended and the wave function changes abruptly in a way not controlled by, nay strictly at variance with, the wave equation, in our case : the collapsing of the whole spherical wave into a small wave-parcel. That is how we obtain – in two different ways – an accuracy of momentum which conflicts with the accuracy of location obtained at A : by violating the principles of wave mechanics. », SCHRÖDINGER, *op. cit.*, p. 35

particules mesurées étaient au nombre de deux et la fonction d'onde n'a jamais subi de réduction à la mesure.

Toutefois, pour cet argument, Schrödinger s'est fondé sur la possibilité d'une mesure « imprécise » à la fois de la position et de l'impulsion en B, dont il n'existait pas encore à l'époque de formalisation théorique ou expérimentale. Il a fallu attendre pour cela les années 1980, où de nombreux physiciens³² ont proposé des modes opératoires de ce type sous la dénomination de « mesure faible » (weak measurement). Une mesure faible peut fournir un certain degré d'information à propos d'un état quantique sans lui faire subir de réduction³³.

Plusieurs expériences ont été proposées ensuite dans un célèbre article d'Aharonov, Anandan et Vaidman de 1993³⁴, où ce type de processus de mesure qualifié de « protectif » est présenté comme permettant d'atteindre une connaissance de la nature de la fonction d'onde *en dehors* des mesures, c'est-à-dire une connaissance objective, auparavant considérée comme impossible. Notons qu'Aharonov est un défenseur de l'interprétation de l'onde pilote de de Broglie-Bohm, l'une des interprétations actuelles qui confèrent une réalité ontologique à la fonction d'onde. L'article présente les mesures protectives comme une preuve de ce caractère ontologique. Toutefois, il ne permet pas de clore le problème de la mesure, puisque les mesures protectives ne représentent qu'une fraction spécifique des processus de mesure, sans contrevenir au fait que dans la plupart des mesures, on constate toujours l'émergence apparemment aléatoire d'une valeur unique. Ce n'est pas parce qu'on peut empêcher cette sélection de se produire que l'on peut l'expliquer.

5.7 L'interprétation de la fonction d'onde

La fonction d'onde, qui est l'objet principal du formalisme quantique à l'époque de Schrödinger, a été interprétée différemment par les physiciens qui l'utilisaient à l'époque de l'éla-

32. Pour n'en citer que quelques-uns : M. B. MENSII, « Quantum restrictions on the measurement of the parameters of motion of a macroscopic oscillator », in : *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki* 77.4 (1979), p. 1326–1339, V.P. BELAVKIN, « Quantum filtering of Markov signals with white quantum noise », in : *Radiotekhnika i Elektronika* 25 (1980), p. 1445–1453, A. BARCHIELLI, L. LANZ et G. M. PROSPERI, « A model for the macroscopic description and continual observations in quantum mechanics », in : *Il Nuovo Cimento B* 72.1 (1982), p. 79–121, C. M. CAVES, « Quantum mechanics of measurements distributed in time. A path-integral formulation », in : *Phys. Rev. D* 33.6 (1986), p. 1643–1665

33. On trouve une review de ces techniques dans : B. TAMIR et E. COHEN, « Introduction to Weak Measurements and Weak Values », in : *Quanta, [S.l.]* 2.1 (2013), p. 7–17

34. Y. AHARONOV, Anandan J. et Vaidman L., « Meaning of the wave function », in : *Phys. Rev. A* 47.6 (1993), p. 4616–4626, p. 30

laboration de la théorie³⁵ :

- comme un outil conceptuel (position d'Einstein et de Born);
- comme une puissance au sens aristotélicien, qui deviendrait acte au moment de la création d'une particule par la mesure (position de Heisenberg³⁶);
- comme pleinement réelle :
 1. au sens commun (position de Schrödinger en 1926);
 2. au sens où elle n'est pas moins réelle que les autres corps (position de Schrödinger en 1950, avec l'atténuation de la réalité des corps qu'on lui connaît).

Dans le cadre de la première interprétation, une série de problèmes émerge lorsqu'on considère ce que recouvre cet outil conceptuel qu'est la fonction d'onde, c'est-à-dire ce qui n'est plus seulement conceptuel. Born, en essayant de combiner l'interprétation ondulatoire et l'interprétation corpusculaire probabiliste, a réalisé trop tôt le passage de la première à la seconde, ce qui l'amène à trouver dans ses calculs de probabilités des termes d'interférences qui ne s'expliquent pas. En outre, Born n'était pas très clair sur ce dont la fonction d'onde représentait la probabilité³⁷.

Une autre possibilité est d'interpréter la fonction d'onde comme comportement collectif d'une diversité de corpuscules, en s'inspirant des gaz de la physique statistique, mais Schrödinger s'y oppose car cela revient à supposer une diversité que l'on est incapable d'observer : une identifiabilité des particules par certaines différences (dans le cas des molécules de gaz, ce sont la position, l'orientation, la vitesse des molécules) que nous ne faisons que supposer. Or, puisqu'il se rallie à la condition positiviste de maximalité de notre connaissance, il considère cette supposition comme injustifiée³⁸, donc les particules comme numériquement identiques, et par conséquent leur unité comme unique réalité (selon le développement présenté au chapitre précédent). Même sans se positionner d'un point de vue positiviste, cependant, cette interprétation ne pourrait expliquer pourquoi, parmi tout un gaz de particules, seule l'une d'entre elles serait captée par nos appareils lors d'une mesure.

Enfin, si l'on considère que la fonction d'onde est un catalogue d'informations (donc qu'elle ne reflète ni plus ni moins que notre connaissance), on ne peut accorder cette interprétation avec une opinion positiviste. Schrödinger le montre par ce raisonnement : si le catalogue est maximal, tout

35. BITBOL, *op. cit.*, p. 47

36. *ibid.*, p. 12

37. *ibid.*, p. 72

38. SCHRÖDINGER, *Physique Quantique et Représentation du Monde*, p. 116

changement qu'il subit doit combiner une addition avec une perte. Or, la connaissance ne peut être perdue à moins de devenir fausse. Si c'est le cas, c'est que l'objet qu'elle concerne a changé. En effet, si la connaissance change alors que la réalité reste identique, c'est qu'il y avait une erreur dans la connaissance à l'origine, ou alors qu'il y a une erreur à présent. La fonction d'onde représente donc au moins en partie l'état d'un certain objet³⁹.

Toutefois, cette interprétation-ci reste, elle, valable si l'on ne se place pas d'un point de vue positiviste et que l'on accepte donc que ce catalogue d'information qu'est la fonction d'onde puisse être incomplet. Cela revient à supposer que la description du monde fournie par la mécanique quantique n'est pas complète, et c'est l'opinion adoptée par Einstein⁴⁰, qu'on appelle « l'interprétation des variables cachées ». Cette interprétation est soumise à conditions (l'expérience a démontré que les variables inconnues qu'elle suppose doivent être non-locales, c'est-à-dire non portées par les particules elles-mêmes mais s'appliquant à tout l'espace à la fois⁴¹); cependant elle reste encore valable aujourd'hui.

La deuxième interprétation citée pourrait être une piste à explorer, mais je m'en abstiendrai dans ce travail car Schrödinger n'étudie pas vraiment la question.

La troisième, par contre, nous amène au cœur du sujet. Dans cette catégorie, la première interprétation de Schrödinger, prenant l'onde au sens le plus littéral, le pousse à se lancer successivement dans deux tentatives de description mathématique au cours de l'année 1926 : celle « de l'onde pure » et celle de l'électrodynamique⁴². Toutes deux seront rejetées successivement par Schrödinger pour leur incapacité à expliquer l'ensemble des phénomènes, mais leurs domaines d'application se révéleront complémentaires. La première, consistant à appliquer le modèle des ondes classiques aux phénomènes quantiques jusqu'ici expliqués de manière corpusculaire, a permis la description susmentionnée des niveaux d'énergie atomiques comme des fréquences propres de vibration. Cependant, certaines inconsistances subsistaient, et notamment le fait que cette description expliquait mal la radiation lumineuse émise, selon le formalisme des niveaux d'énergie, lors du saut de l'élec-

39. BITBOL, *op. cit.*, p. 104

40. EINSTEIN, PODOLSKY et ROSEN, *op. cit.*, p. 116

41. Pour la théorie : J. S. BELL, « On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox », in : *Physics* 1 (1964), p. 195–200 et pour la démonstration expérimentale : A. ASPECT, P. GRANGIER et G. ROGER, « Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem », in : *Phys. Rev. Lett* 47 (1981), p. 460. Ainsi que : A. ASPECT, J. DALIBARD et G. ROGER, « Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analyzers », in : *Phys. Rev. A* 49 (1982), p. 1804

42. BITBOL, *op. cit.*, p. 67

tron d'un niveau à un autre. Schrödinger a donc tenté une autre approche, centrée sur la densité de charge électrique ($\rho(r) = q \cdot |\Psi(r)|^2$) et se servant de la théorie de Maxwell-Lorentz pour expliquer la radiation. Ce fut un franc succès pour cette part du problème, mais cette fois, c'était la nature des électrons atomiques qui s'expliquait mal. En effet, il fallait alors considérer l'électron comme un « nuage d'électricité »⁴³ centré sur le noyau, mais la stabilité de ce nuage était inexplicable par les lois de l'électrodynamique classique. D'autre part, Schrödinger ne pouvait se passer de la description ondulatoire pour décrire toute interaction entre l'atome et un rayonnement incident (comme l'effet Compton, par exemple)⁴⁴.

En continuant à louvoyer entre les deux, on peut obtenir une démonstration ondulatoire de la loi de radiation de Planck sans utiliser le postulat des quanta (réalisée par Schrödinger en 1927⁴⁵), traiter de manière ondulatoire l'effet photoélectrique (réalisé par Wentzel en 1926⁴⁶) et les traces du passage de particules dans une chambre à brouillard (réalisé par Mott en 1929⁴⁷). Ce dernier propose même une résolution de tout phénomène discontinu en repoussant la discontinuité à l'observation. Toutefois, ce dédoublement de la représentation n'est pas satisfaisant pour Schrödinger conformément à sa volonté initiale de concilier l'image et les faits : un seul phénomène devrait avoir une seule représentation. Ce n'est qu'en atteignant son opinion mature en théorie de la connaissance, qualifiée par Bitbol de post-moderne, qu'il pourra voir dans chacune des descriptions un rôle différent. En effet, la description « de l'onde pure » présente un aspect « effectif »⁴⁸ en ce qu'elle permet de décrire les mécanismes causaux qui se cachent derrière les observations ; alors que d'un autre côté, la description électrodynamique présente un aspect « factuel » en ce qu'elle offre une description directe des faits observés (le rayonnement en l'occurrence). Dans le cadre post-moderne, on peut donc identifier la description « de l'onde pure » à la représentation proprement dite, alors que la description électrodynamique tient lieu de règle de correspondance avec les faits. C'est ainsi que naît l'interprétation que Michel Bitbol qualifie de parallélisme entre le modèle Ψ et le modèle F, corres-

43. *ibid.*, p. 68

44. *ibid.*, p. 70

45. E. SCHRÖDINGER, « The exchange of energy according to wave mechanics, Collected papers on wave mechanics », in : *Blackie and son* (1928), p. 143–145, cité dans BITBOL, *op. cit.*, p. 86

46. G. WENTZEL, « Zur Theorie des photoelektrischen Effekts », in : *Z. phys.* 40 (1926), p. 574–589, cité dans BITBOL, *loc. cit.*

47. N.F. MOTT, « The wave mechanics of alpha-rays tracks », in : *Proc. Roy. Soc. Lond. A* 126 (1929), p. 79–84, cité dans BITBOL, *op. cit.*, p. 87

48. *ibid.*, p. 75

pondant respectivement aux descriptions « de l'onde pure »/effective et électrodynamique/factuelle. C'est cette position qui sera adoptée par Schrödinger à partir de 1950.

Ce changement de position sur la théorie de la connaissance garantit la cohérence de l'interprétation de la mécanique quantique de Schrödinger. Toutefois, il a abandonné toute possibilité de résoudre le problème d'une façon qui permette une connaissance objective du statut de la fonction d'onde pour ceux qui en rechercheraient une, et par conséquent de trancher la question : « indépendamment de nos observations, les corps quantiques sont-ils corpusculaires, ondulatoires ou d'une autre nature? ». Pour ceux qui continueraient à rechercher une description de la réalité indépendante de notre connaissance, la question reste ouverte, et le renoncement de Schrödinger montre bien à quel point elle est difficile à résoudre.

CONCLUSION

Au cours de ce travail, nous avons pu établir que l'ontologie de Schrödinger est un monisme dont l'être unique est un esprit universel englobant les consciences de tous les êtres vivants, non pas en tant que parties, mais en tant que « toutes dans le tout ». Chaque espèce vivante possède une conscience au sens large définie comme mémoire des acquis et capacité d'évolution; chaque être humain possède une conscience au sens restreint définie comme l'attention portée aux situations nouvelles, essentiellement déterminée mais disposant d'une part de liberté dans le choix de sa direction d'évolution, et qui est consciente d'elle-même. Lorsque nous percevons le monde, nous dévoilons une petite partie des pensées de l'Esprit unique, sur lesquelles nous construisons nos représentations quotidiennes et nos modèles théoriques. La compréhension des liens entre ces constructions est un objectif important pour la science, en vue duquel elle doit constituer des représentations claires sous forme d'images, bien qu'elle ne doive pas prétendre à découvrir une réalité.

Par ailleurs, Schrödinger conçoit que des corps quantiques de même forme spécifique présentent une identité numérique et que la seule individualité est celle des observables d'un système. Les éléments d'un système sont, comme les consciences dans l'Esprit unique, « tous dans le tout », et il n'est plus possible de distinguer leur matière de leur forme. La fonction d'onde a un statut épistémologique plutôt qu'ontologique : lors d'une mesure, la fonction d'onde est transformée, les faits expérimentaux structurés par leurs observables sont transformés, mais on ne dit rien sur ce qui sous-tend les observations.

Les propositions alternatives de Schrödinger, même si elles sont contestables à certains égards, montrent en tout cas que l'interprétation de Copenhague doit encore répondre de plusieurs incohérences concernant la mesure, la signification du principe d'indétermination, la définition d'une identité quantique, l'impossibilité d'observer les orbitales atomiques, la nature de la fonction d'onde,

et enfin la non-compatibilité avec la relativité du temps et de l'espace.

« Une vue d'ensemble des produits de la pensée occidentale, théorique et pratique, au cours des quinze derniers siècles, n'est pas très encourageante »¹, estime Schrödinger, en comparant ensuite son époque au déclin du monde antique pour leur absence de remise en question et leur prosaïsme². La démarche qu'il a choisi d'adopter vis-à-vis de cette situation est d'y intégrer des éléments de la pensée orientale. Mais est-il vraiment possible d'importer des éléments d'une culture que l'on n'a pas vécue en les utilisant à notre façon ? Peut-être les formulations que nous comprenons de manière très abstraite s'intègrent-elles en fait dans un symbolisme qui renvoie à des choses très concrètes dans leur culture d'origine ? Peut-être est-ce une mauvaise interprétation de croire qu'une culture entière estime que le monde n'existe pas. Peut-être l'utilisation d'éléments d'une autre culture permet-elle une utilisation beaucoup plus radicale que dans leur culture d'origine.

Une chose certaine, dont on peut avoir la confirmation en discutant avec eux, est que les orientaux n'ont pas la même manière de transmettre leur pensée. L'ensemble de maximes transmises par leurs penseurs est destiné à fournir à chacun un support pour sa réflexion personnelle, et non à contenir une vérité générale pouvant être retenue telle quelle. C'est pourquoi, lorsque Schrödinger traduit un élément de la pensée bouddhiste par la description : « une chose n'est pas tout à fait A ni non-A, mais sans être "ni A ni non-A", et sans qu'on puisse non plus dire que c'est "à la fois A et non-A" »³, on peut se demander s'il fait bien d'utiliser des catégories formelles (A et non-A) qui permettent son application à n'importe quel objet, y compris de nature physique. Il se peut qu'à l'origine, le penseur qui a amené cette idée dans la pensée bouddhiste avait en tête la difficulté de comprendre un ami plein de contradictions et voulait exprimer le fait que les personnes sont complexes d'une façon qui pourrait être interprétée par chacun, mais sans sous-entendre qu'être contradictoire était une caractéristique générale de tout et n'importe quoi. Ce n'était sans doute pas entendu comme une vérité générale applicable à des objets de toutes les natures, y compris matériels, puisque cette proposition n'est pas une proposition scientifique. Comprenons bien ici : ce n'est pas parce qu'elle provient d'une autre culture que la culture occidentale qu'elle n'est pas scien-

1. « A survey of the finaly product of western thought, theoretical and practical, over the last fifteen hundred years, is not exactly encouraging. » SCHRÖDINGER, *My View of the World*, p. 7

2. *ibid.*, p. 6

3. « a thing is neither A nor not-A, but yet it is not a "neither A nor not-A", nor can one say that it is "both A and not-A". » *ibid.*, p. 8

tifique, c'est simplement parce qu'elle ne relève pas de la même démarche que la science. La science n'est pas la manière de penser des grecs, elle est celle de tous ceux qui veulent obtenir des réponses à leurs interrogations spontanées par des méthodes empirico-logiques et sous la forme de vérités générales.

Personnellement, il me semble que la proposition selon laquelle « la science est une manière grecque de penser le monde » est analogue à celle qui dirait « l'écriture est la manière mésopotamienne (ou chinoise) de représenter le monde ». D'une part, comme on l'a dit, elle n'était pas uniforme parmi les grecs, et d'autre part, retracer l'origine d'une méthode ou d'une technique ne signifie pas qu'elle soit indissociablement liée à cette origine. Si l'Histoire s'était déroulée autrement, la science aurait pu être d'origine aztèque ou viking, sans que ses principes en soient modifiés. L'attribuer à une culture est réducteur et dangereux, car certains pourraient comprendre cette affirmation comme la confirmation d'une certaine croyance dans le relativisme des démarches mises en œuvre pour accéder à une connaissance ; croyance de plus en plus présente dans les controverses pseudo-scientifiques actuelles. Si la science « ne peut pas tout expliquer » (la nature de la conscience notamment), c'est parce qu'elle a un domaine d'application restreint, et non parce que ses principes sont mauvais ou relatifs à une culture. D'ailleurs, ce que Schrödinger essaye de faire, c'est *d'étendre* la science ; d'abattre le mur que les physiciens du *XVII^e* siècle ont bâti entre elle et le reste de la philosophie. Ultiment, il veut ramener dans le domaine de la science des questions qui le préoccupent et qu'il pense pouvoir traiter avec cette méthode : traiter la question de la nature de la conscience ou de la morale en s'appuyant sur la théorie de l'évolution, etc. On peut considérer en d'autres termes qu'il a pour objectif de reformer la philosophie au sens général qu'on lui donnait dans la Grèce antique.

En considérant cela, on comprend mal pourquoi il accepte aussi facilement le positivisme de seconde génération, qui change, lui, la nature profonde de la science. Cette « science nouvelle » a remplacé sa recherche d'explication par une simple vocation à la description constructiviste, de manière à satisfaire un critère de prédictibilité des résultats.

Bien que l'esprit de sa démarche soit très différent de celui des positivistes, ce qui les rapproche est un certain subjectivisme. Un subjectivisme pratique (proche de celui de Protagoras) pour les positivistes, et théorique pour Schrödinger, dans le cadre de sa doctrine de la conscience universelle.

Si c'est la condition pour soutenir cette doctrine, on comprend bien qu'il l'accepte. On ne peut reprocher à quelqu'un qui a vécu le traumatisme de deux guerres mondiales successives d'avoir besoin de spiritualité pour le surmonter. Ce n'est pas un hasard si ses premières recherches en philosophie indienne se trouvent dans les carnets qu'il écrivait dans les tranchées en 1918⁴. On peut comprendre également qu'il y trouve une certaine beauté, une grande fraternité de l'espèce humaine et du vivant dans son ensemble. Toutefois, ce qui reste étrange, c'est la profondeur de son mépris pour le réalisme. Il emploie très fréquemment des qualificatifs péjoratifs comme « naïf », « enfantin » ou « banqueroute ». Pourtant, le réalisme n'est même pas le point de vue dominant de son époque, contre lequel il devrait défendre sa vision particulière : la plupart des physiciens qui l'entourent sont positivistes. La raison n'en est pas non plus la froideur qu'il y voit, car ses adjectifs méprisants ne se rapportent pas à elle. Curieusement, alors qu'il se montre conscient des similitudes avec le positivisme présentes dans sa pensée, il est inconscient de celle que l'on peut y voir avec le réalisme, à savoir la recherche d'une compréhension, du monde pour les réalistes et pour lui des pensées de l'Esprit unique qui sont à l'origine des sensations.

On peut reconnaître dans sa défense de la mécanique ondulatoire une visée de cohérence avec sa doctrine de l'identité universelle. En effet, si les ondes peuvent être distinguées par leur modulation ou leur fréquence, elles sont tout de même toutes liées dans un continu universel. L'ensemble des ondes présentes dans l'univers de la physique est donc beaucoup plus proche d'une identité que ne le serait celui de corpuscules distincts. Toutefois, identifier ses motivations n'invalide pas ses arguments. L'interprétation de Copenhague était incapable de répondre aux problèmes de la mesure, de la signification du principe d'indétermination, de la définition d'une identité quantique, de l'impossibilité d'observer les orbitales atomiques, de la nature de la fonction d'onde, et enfin de la relativité du temps et de l'espace. Aujourd'hui, nous pouvons faire le constat que la physique a très peu progressé sur ces questions, malgré les progrès techniques exceptionnels réalisés au cours des soixante ans qui se sont écoulés depuis la mort de Schrödinger. Comment se fait-il qu'elles ne soient pas encore résolues alors que la mécanique quantique est enseignée comme une théorie complète dans toutes les formations de physique ?

Une piste de compréhension proposée par Michel Bitbol⁵ est la suivante : le fait qu'une référé-

4. *idem*, *L'Esprit et la Matière*, pp. 34-35

5. BITBOL, *op. cit.*, pp. 261

rence puisse être faite dans un contexte pratique sans avoir de cadre paradigmatique accepté se produit souvent lors des révolutions scientifiques. Pour donner un exemple dans le cas qui nous occupe, on peut faire référence à un électron émis par un atome de manière pratique en l'utilisant dans une expérience, sans pourtant s'accorder sur la nature de l'électron ou de l'atome. Les termes n'ont en commun que leur application pratique, mais provoquent en chacun une image différente dans le cadre de sa vision du monde. Toutefois, cette dissonance n'est habituellement que transitoire : lorsque le nouveau paradigme est admis, la référence à ce paradigme reprend son importance et la référence pratique redevient inutile. Or, depuis l'introduction de la mécanique quantique, le statut exclusivement pratique des présupposés n'a jamais été abandonné. A-t-il été maintenu volontairement par les physiciens du fait d'un positivisme préexistant, ou bien la généralisation du positivisme est-elle née par résignation devant une situation inextricable ? Dans le premier cas, on peut se demander si le positivisme était à ce point dominant parmi les physiciens de ce domaine par pur hasard, ou par un phénomène de mode généralisé dans la pensée de l'époque. Dans le second cas, il faudrait comprendre comment une telle résignation a-t-elle pu s'installer indéfiniment : si le problème était réellement plus complexe que ceux qui avaient causé toutes les révolutions passées, trop complexe pour tous les esprits de l'époque et les générations immédiatement successives, ou si cette faiblesse est ici aussi à attribuer à une époque résignée.

Toujours est-il que l'absence de la référence paradigmatique chez deux générations de physiciens a suffi pour que les générations suivantes ne *sachent plus* qu'il leur faudrait savoir. Les problèmes quantiques ont subi l'oubli de l'oubli dénoncé par Hannah Arendt en politique et par Heidegger à propos de la question de l'être en philosophie. Ne serait-il pas temps pour les physiciens de cesser de les rejeter sous le terme vide de sens de « métaphysique » ? La démarche de Schrödinger n'était pas conservatrice : on doit lui reconnaître le courage d'affronter de manière innovante des questions abandonnées par tous ; de la même façon, ce n'est pas être conservateur aujourd'hui que d'affronter à nouveau d'anciennes questions non résolues.

BIBLIOGRAPHIE

- AHARONOV, Y., Anandan J. et Vaidman L., « Meaning of the wave function », in : *Phys. Rev. A.* 47.6 (1993), p. 4616–4626.
- ARISTOTE, *Métaphysique Delta* 6, 1016b31–1017a3.
— *Métaphysique Delta* 9, 1018a5–1018a9.
- ASPECT, A., J. DALIBARD et G. ROGER, « Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analyzers », in : *Phys. Rev. A.* 49 (1982), p. 1804.
- ASPECT, A., P. GRANGIER et G. ROGER, « Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem », in : *Phys. Rev. Lett* 47 (1981), p. 460.
- AULETTA, G., G.F.R ELLIS et L. JAEGER, « Top-down causation by information control : from a philosophical problem to a scientific research programme », in : *J. R. Soc. Interface* 5 (2008), p. 1159–1172.
- BALIBAR, E., *John Locke. Identité et différence. L'Invention de la conscience*, Paris : Seuil, 1998.
- BARCIELLI, A., L. LANZ et G. M. PROSPERI, « A model for the macroscopic description and continual observations in quantum mechanics », in : *Il Nuovo Cimento B* 72.1 (1982), p. 79–121.
- BELAVKIN, V.P., « Quantum filtering of Markov signals with white quantum noise », in : *Radiotekhnika i Elektronika* 25 (1980), p. 1445–1453.
- BELL, J. S., « On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox », in : *Physics* 1 (1964), p. 195–200.
- BITBOL, M., *Schrodinger's Philosophy of Quantum Mechanics*, Paris : Kluwer Academic Publishing, 1996.
- BLACKBURN, S., *Essays in Quasi-realism*, Oxford University Press, 1993.
- BODÉÜS, R. et A. STEVENS, *Aristote, Œuvres*, Vrin, 2014, p. 44.
- BOHR, N., *Essays 1958-1962 on atomic physics and human knowledge*, Ox Bow Press, 1987.
- BOLTZMANN, L., *Theoretical physics and philosophical problems*, B. Mac Guinness, Reidel, 1974.
- CAVES, C. M., « Quantum mechanics of measurements distributed in time. A path-integral formulation », in : *Phys. Rev. D.* 33.6 (1986), p. 1643–1665.

-
- COMTE, A., *Discours sur l'esprit positif*, 1842.
- EINSTEIN, A., « Concerning an Heuristic Point of View Toward the Emission and Transformation of Light », in : *American Journal of Physics* 33.5 (1965).
- EINSTEIN, A., R. PODOLSKY et N. ROSEN, « Can Quantum Mechanical Description of Reality Be Considered Complete? », in : *Phys. Rev.* 47 (1935), p. 777.
- FRENCH, S., « Identity and Individuality in Quantum Theory », in : *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (2006).
- FRENCH, S. et D. KRAUSE, *Identity in Physics : a historical, philosophical and formal analysis*, Oxford University Press, 2006.
- HUSSERL, E., *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie*, 1913.
- LEIBNIZ, G. W., *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, t. 2, Flammarion, 1921.
- LEWIS, J., « Mud Plume Feeding, a Unique Foraging Behavior of Bottlenose Dolphin in the Florida Keys », in : *Gulf of Mexico Science* (2003).
- LOCKE, John, *An Essay Concerning Human Understanding*, t. II, 1690.
- MEHRA, J. et H. RECHERBERG, « The Historical Development of Quantum Theory », in : 5 (1987).
- MENSKII, M. B., « Quantum restrictions on the measurement of the parameters of motion of a macroscopic oscillator », in : *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki* 77.4 (1979), p. 1326–1339.
- MOTT, N.F., « The wave mechanics of alpha-rays tracks », in : *Proc. Roy. Soc. Lond. A* 126 (1929), p. 79–84.
- RAUZY, J.-B., *Recherches générales sur l'analyse des notions et des vérités*, Puf, 1998, p. 459–464.
- REYMOND, A., *Les Penseurs de la Grèce*, t. 1, Paris : Payot, 1928.
- RICOEUR, P., *Idées directrices pour une phénoménologie et une philosophie phénoménologique pure*, Gallimard, 1951.
- ROVELLI, C., « « Sky is blue and birds fly through it » », in : *Philos. Trans. Royal Soc* (2017).
- SARTRE, J.P., *L'Être et le Néant*, Gallimard, 1943.
- SCHRÖDINGER, E., « Die Besonderheit des Weltbilds der Naturwissenschaft », in : *Acta Physica Austriaca* 1 (1948), p. 201–245.
- « Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik », in : *Naturwissenschaften* 23.48 (1935).

-
- *La Nature et les Grecs*, sous la dir. de M. BITBOL et Bitbol-Hespériès A., Paris : Seuil, 1992.
 - *L'Esprit et la Matière*, sous la dir. de M. BITBOL, Points-Sciences, Paris : Seuil, 2016.
 - *Mein Leben, meine Weltansicht*, Kluwer Academic Publishing, 1951.
 - *Mind and Matter*, Cambridge University Press, 1958.
 - *My View of the World*, sous la dir. de C. HASTINGS, Cambridge University Press, 1964.
 - *Nature and the Greeks*, Cambridge University Press, 1954.
 - *On the peculiarity of the scientific world-view. What is life? and other essays*, Doubleday anchor, 1957.
 - *Physique Quantique et Représentation du Monde*, sous la dir. de J. LADRIÈRE et al., Paris : Seuil, 1992.
 - *Science and Humanism - Physics in our time*, Cambridge University Press, 1951.
 - « The exchange of energy according to wave mechanics, Collected papers on wave mechanics », in : *Blackie and son* (1928), p. 143–145.
 - *The interpretation of quantum mechanics : Dublin seminars (1949-1955) and other unpublished essays*, sous la dir. de M. BITBOL, Woodbridge : Ox Bow Press, 1995.
 - « What is an elementary particle ? », in : *Endeavour* (1950), p. 109–116.
- SELLERI, F., *Le grand débat de la théorie quantique*, Paris : Flammarion, 1986.
- STEVENS, A., *Aristote, Œuvres*, La Pleiade, Gallimard, 2014, p. 1001–1004.
- TAMIR, B. et E. COHEN, « Introduction to Weak Measurements and Weak Values », in : *Quanta*, [S.l.] 2.1 (2013), p. 7–17.
- WENTZEL, G., « Zur Theorie des photoelektrischen Effekts », in : *Z. phys.* 40 (1926), p. 574–589.
- WIMMEL, H., *Quantum physics and observed reality*, World Scientific, 1992.

Références principales

- Schrödinger, E., *Mein Leben, meine Weltansicht*, traduit de l'Allemand par Hastings, C. dans *My view of the world*, Cambridge University Press, 1964.
- Schrödinger, E., *Mind and matter*, Cambridge University Press, 1958, traduit de l'anglais par Bitbol, M. dans *L'Esprit et la matière*, Paris, Points-Sciences, Seuil, 2016.
- Bitbol, M., *Schrodinger's Philosophy of Quantum Mechanics*, Paris, Kluwer Academic Publishing, 1996.

-
- Schrödinger, E., *Physique quantique et représentation du monde*, Paris, Points Sciences, Seuil, 1992. Volume contenant la traduction française de *Science and Humanism – Physics in our time*, Cambridge University Press, 1951, traduit de l'anglais par Ladrière, J. , ainsi que celle de «Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik », *Naturwissenschaften*, 23, n° 48, 1935, traduit de l'allemand par de Jouvenel, F., Bitbol-Hespériès, A. et Bitbol, M..
 - Schrödinger, E., *Nature and the Greeks*, Cambridge University Press, 1954, traduit de l'anglais par Bitbol M. et Bitbol-Hespériès A. dans *La Nature et les Grecs*, Paris, Seuil, 1992.
 - Schrödinger, E., *The interpretation of quantum mechanics*, Woodbridge, Ox Bow Press, 1995.

INDEX

-
- altruisme, 3, 22
âme, 18, 19, 30
animisme, 42
Antiquité, v, 40, 41
Aristote, 19, 25, 32, 43
atome, 30–32, 47, 55, 57–61, 68, 75
attention, 11–14, 16, 18, 19, 71
Bohr, iii, 47, 48, 51, 64
Boltzmann, v, 46
boson, 35, 59, 60
causalité, 5, 15, 16, 21, 36, 41
chose familière, 45
coalescence, 33–36, 56
complémentarité, 47, 51
conscience, iv, 1–4, 6, 7, 9–14, 16–21, 26, 28, 36, 37, 40, 44, 45, 64, 71, 73
construction scientifique, 45
corpusculaire, 31, 47, 51, 55, 57, 59, 60, 63, 66, 67, 69
déterministe, 14, 23
de Copenhague, iii, iv, vi, 1, 47, 50, 71, 74
description « de l'onde pure », 68
doctrine védique, 3, 5, 31
égoïsme, 3
Einstein, iii, v, 49, 56, 60, 66, 67
électrodynamique, 62, 67–69
électron, vi, 26, 34, 57–59, 61, 62, 68, 75
émergent, 15, 34–36
épistémologique, iii, 36, 43, 46, 49, 71
espace, 4, 7, 20, 28, 29, 33, 34, 51, 55, 58–60, 62, 67, 72, 74
Esprit unique, 3, 4, 8–11, 16, 20, 35, 36, 43, 45, 71, 74
éthique, 3, 21, 52
évolution darwinienne, 14, 42
fermion, 35, 59, 60
fonction d'onde, 47, 52
grec, 25, 40–44, 73, 80
habitude linguistique, 20, 31, 37
Heisenberg, iii, vi, 42, 46, 51, 53, 66
hindouisme, 3
Husserl, 7, 19
hypothèse du monde, 2, 3, 5, 9, 42
identité des indiscernables, 26, 31, 35
identité formelle, 35, 36
identité numérique, 25–27, 32, 71
identité personnelle, 26, 28, 31
identité spécifique, 25, 32

imagination, 7, 8, 45
 interprétation, iii–vi, 1, 5, 10, 17, 26, 37, 47, 49–52, 54, 55, 57–61, 64–69, 71, 72, 74
 intersubjectivité, 2, 9, 20
 Kant, v, 2, 22, 29
 lamarckien, 14, 15
 langage, 2, 6, 9, 20, 37, 41
 Leibniz, 5, 23, 26–31, 34, 35
 liberté, 14, 23, 71
 Locke, 19, 26–29, 35
 mécanique matricielle, vi, 46
 mécanique ondulatoire, 46, 64, 74
 mécanique quantique, iii, v, vi, 25, 26, 31, 34, 40, 42, 46, 47, 51–53, 55, 62, 67, 69, 74, 75
 mémoire supra-individuelle, 14, 15, 17
 Mach, v, 11, 40, 42
 matière, v, 3, 5, 8, 15, 28–32, 34–36, 71, 79
 maximalité, 35, 66
 modèle Ψ , 47, 48, 68
 modèle F, 5, 47–49, 68
 modes propres, 58–60, 62
 monde, iii, 1–7, 9, 10, 25, 28, 31, 36, 40, 42–44, 46, 48, 49, 52, 67, 71–75, 80
 objectif, iii, 2, 3, 5, 9, 10, 71, 73
 ondulatoire, iii, vi, 46–48, 51, 57, 59, 64, 66, 68, 69, 74, 82
 ontologie, iii, iv, 1, 3, 20, 36, 42, 43, 49, 71
 paradoxe du chat, 55
 parallélisme, 5, 48, 68
 particule, 26, 28, 31, 33–36, 47, 48, 51, 54, 55, 57, 59–61, 64–68
 perception, 1, 2, 7–9, 12, 17, 19, 37, 42, 45
 pluralité, 4, 9
 positiviste, iii, 35, 39, 42–44, 46, 54, 66, 67, 73, 74
 problème de la mesure, 33, 48, 50, 63, 65
 réalité indépendante, 48, 69
 relativité, v, 59, 62, 72, 74
 Schopenhauer, v, 3, 4
 seconde quantification, 58–60
 sensation, 1–3, 7, 8, 11, 12, 45, 74
 solipsisme, 6
 statistique, v, 35, 54, 59, 60, 63, 66
 subjectif, 6
 temps, 3–5, 7, 8, 11, 13, 19, 20, 22, 25–29, 34, 39, 41, 45, 51, 54, 55, 58, 60, 72, 74, 75
 théorie de la connaissance, iv, 39, 42–44, 68, 69
 top-down, 15, 36
 unité, 7, 25, 28, 34, 36, 56, 60, 66
 Upanishad, v, 9
 utilitarisme, 22
 vécus, 6, 7
 vivant, 13, 14, 19, 26–29, 31, 35, 36, 55, 71, 74

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	iii
1 Ontologie générale	1
1.1 Principes de l'ontologie schrödingerienne	1
1.2 Quelques précisions	4
1.3 Objections	7
2 De la conscience	11
2.1 Conscience et attention	11
2.2 Conscience et mémoire supra-individuelles	14
2.3 Une conscience réduite	19
2.4 Conscience et apprentissage	20
2.5 La moralité à l'aune de la conscience schrödingerienne	21
3 De l'identité	25
3.1 Enoncé de la question	25
3.2 Les principes d'identité chez Locke et Leibniz	26
3.3 La position de Schrödinger	30
3.4 Un Leibnizien qui s'ignore	34
3.5 Influence des présupposés ontologiques sur l'épistémologie schrödingerienne	36
4 Théorie de la connaissance	39
4.1 Introduction	39
4.2 Le rôle de la science	39
4.3 Conditions de la connaissance	40

4.4	Épistémologie de la fonction d'onde	46
5	Quant à la querelle quantique	51
5.1	Préliminaire technique	52
5.2	L'incertitude	54
5.3	L'identité et l'unité	56
5.4	Les sauts quantiques	57
5.5	La relativité quantique	62
5.6	Le problème de la mesure	63
5.7	L'interprétation de la fonction d'onde	65
6	Conclusion	71
	Références principales	79
Index		81
		85

Résumé : Erwin Schrödinger est un physicien autrichien du XXème siècle qui a participé à l'élaboration de la mécanique quantique et proposé certaines alternatives à l'interprétation de Copenhague. Ce mémoire expose l'ensemble de sa pensée pour mettre en lumière l'origine de ses opinions mal comprises par les physiciens de l'époque. Son ontologie est un monisme de l'Esprit universel inspiré par les philosophies de l'Inde combinées à un fort intérêt pour l'évolution des espèces, qui l'amène à une double définition de la conscience : comme mémoire supra-individuelle au sens large et comme synonyme d'attention au sens restreint. Un thème central de sa pensée est celui de l'identité, qui donne lieu à l'établissement d'une identité formelle pour les corps classiques ainsi que pour les corps quantiques, ces derniers étant considérés de manière holiste et réductibles à leurs observables. Sur le plan de la théorie de la connaissance, il maintient l'exigence de pouvoir former des images claires des éléments théoriques, même sans considérer qu'elles reflètent une réalité indépendante, et c'est l'une des raisons pour lesquelles il s'oppose à l'école de Copenhague. Il dénonce une série d'incohérences dans la théorie quantique, qui sont exposées dans ce travail, et qui ne sont toujours pas résolues actuellement. Ceci nous permet de conclure qu'il est nécessaire de reprendre ces questions non résolues.

Abstract : Erwin Schrödinger is an Austrian physicist of the XXth century who took part in the elaboration of quantum mechanics and offered some alternatives to the Copenhagen interpretation. This thesis shows the whole of his thought to shed light on the origins of his wrongly understood opinions. His ontology consists of a universal-Spirit monism combined with a strong interest in the evolution of species, which lead to a double definition of consciousness : seen as a supra-individual memory in the broadest sense and as a synonym for attention in the narrower sense. A key theme of his thought is identity, from which it follows that classical bodies have a formal identity, as for quantum bodies, which are treated in a holistic way and reduced to observables. With regard to the theory of knowledge he requires the possibility to form clear images of theoretical elements, even though they don't reflect any objective reality, and this is one of the reasons why he confronts the Copenhagen school. He reports a set of inconsistencies within quantum theory, which are presented in this work, and remained unsolved. This allows us to conclude that it is necessary to get back over these unsolved issues.