

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES
HUMAINES, SOCIALES ET EDUCATIVES

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES
HUMAINES ET SOCIALES



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

POST GRADUATE SCHOOL FOR THE
SOCIAL AND EDUCATIONAL
SCIENCES DOCTORAL

DOCTORAL RESEARCH UNIT FOR
SOCIAL SCIENCES

**PENSER LA MATIERE A L'ERE DE LA MECANIQUE
QUANTIQUE : UNE ANALYSE DES TEXTES D'ERWIN
SCHRÖDINGER**

Mémoire soutenu le 24 juillet 2023 en vue de l'obtention du diplôme de Master
en Philosophie

Spécialité : Epistémologie et Logique

Par

Jean Noël NDOUMGOUE

Licencié en Philosophie

Devant le jury composé de :

Président : MENYOMO Ernest, MC

Rapporteur : MOUCHILI NJIMOM Issoufou Soulé, Pr

Membre : ENYEGUE ABANDA Fabien, CC



Mai 2023

SOMMAIRE

<i>SOMMAIRE</i>	<i>i</i>
<i>DEDICACE</i>	<i>ii</i>
<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>iii</i>
<i>RÉSUMÉ</i>	<i>iv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>v</i>
<i>INTRODUCTION GÉNÉRALE</i>	<i>1</i>
<i>PREMIÈRE PARTIE :ERWIN SCHRODINGER SUR LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA CONCEPTION MICROPHYSIQUE DE LA MATIÈRE</i>	<i>7</i>
<i>CHAPITRE I : LES RAISONS D'UNE VOLONTÉ DE DÉPASSEMENT DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE DE LA MATIÈRE</i>	<i>9</i>
<i>CHAPITRE II : LA MÉCANIQUE QUANTIQUE : UNE RÉVOLUTION DANS LA CONCEPTION DE LA MATIÈRE</i>	<i>24</i>
<i>CHAPITRE III : ERWIN SCHRÖDINGER SUR LA QUESTION DU REALISME MICROPHYSIQUE</i>	<i>39</i>
<i>DEUXIEME PARTIE :LES INSUFFISANCES D'UNE CONCEPTION PARTIELLE DE LA MATIÈRE À L'ECHELLE QUANTIQUE</i>	<i>57</i>
<i>CHAPITRE IV : DE L'IRREDUCTIBILITE DES ELEMENTS SUBATOMIQUES AU PRINCIPE D'ONDULATION</i>	<i>59</i>
<i>CHAPITRE V : DE L'INCONGRUITE DE LA NON PRISE EN CHARGE DE LA MASSE ET LA POSITION</i>	<i>75</i>
<i>CHAPITRE VI : LA CRITIQUE DE L'INCOMPLETUDE D'UNE CONCEPTION DU PHENOMENE QUANTIQUE</i>	<i>92</i>
<i>TROISIÈME PARTIE : LA MICROPHYSIQUE OU L'OPPORTUNITÉ D'UNE CONCEPTION RÉALISTE DE LA MATIÈRE</i>	<i>105</i>
<i>CHAPITRE VII : DE L'IMPOSSIBLE DÉSolidARISATION DE LA MASSE ET DE L'ENERGIE DANS LA CONCEPTION QUANTIQUE DE LA MATIÈRE</i>	<i>107</i>
<i>CHAPITRE VIII : LA FÉCONDITÉ THÉORIQUE DE LA CONCEPTION SCHRODINGERIÈNNE DE LA MATIÈRE A L'ECHELLE QUANTIQUE</i>	<i>122</i>
<i>CHAPITRE IX : LA PHYSIQUE QUANTIQUE OU L'EXTENSION DE LA CONNAISSANCE DE LA MATIÈRE</i>	<i>136</i>
<i>CONCLUSION GENERALE</i>	<i>153</i>
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	<i>159</i>
<i>TABLE DES MATIÈRES</i>	<i>169</i>

À
Notre oncle,
Zinki PITNDAP

REMERCIEMENTS

Nous remercions particulièrement le professeur Issoufou Soulé MOUCHILI NJIMOM qui nous a exercé à la rigueur de la réflexion philosophique tout au long de notre travail de recherche ; ainsi que pour la disponibilité dont il a fait montre lors de nos différents entretiens. Ce travail est le résultat de son orientation et de ses conseils.

Nous remercions également le corps enseignant du département de philosophie de la faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I, pour la qualité des enseignements que nous avons reçu de lui, ainsi que pour les multiples et précieux conseils dont nous espérons avoir tenu le plus grand compte.

Nos remerciements s'adressent aussi à notre famille, plus précisément à Abdou FOUGNIGNI, Emmanuel NDANE, Salam MBOUOMBOUO, Cyrille NCHOUNDOUGAM, Yaya MOUNDE, Mohamed Moctar NCHINTOUO, Youssouf Zidane PEFOURA, Brice Nelson NJIKE, Adamou Sadam MFOMBOUO, Bakayoko MOHAMED, Abdel Azize ZLATAN, et à l'ensemble de la famille pour le soutien moral et financier qu'elle nous a aimablement accordé.

Nous remercions aimablement le Dr Mohamed Moustapha NGOUWOUO pour sa disponibilité et son accompagnement constant durant notre recherche.

Ce travail ne serait pas terminé sans l'apport considérable de notre oncle Mouchili Pierre Ernest. Qu'il trouve dans ces mots nos sincères remerciements.

Nous ne saurions clore cette page sans dire merci à tous ceux, qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et que nous n'avons pas pu citer nommément.

Nous ne pensons pas qu'un travail de recherche peut trouver de bons fruits sans le soutien complet des parents. Si nous choisissons de clôturer avec eux, c'est parce que seuls les mots ne suffisent pas à exprimer nôtre satisfaction éprouvée à leur endroit. Puisqu'ils ont toujours souhaité nous voir faire des pas en science, qu'ils considèrent ce travail comme un premier pas.

RÉSUMÉ

L'histoire des sciences est constituée de deux périodes à savoir la période classique et la période moderne. Ces deux périodes présentent un même objectif, celui de rechercher et d'affecter un sens à l'univers et à la matière qui nous entoure. Néanmoins, lorsqu'on passe de la science classique à la science moderne, on observe une révolution discontinue au sujet du problème du statut de la matière. Dans la science classique, la matière était considérée comme une « brique élémentaire » dont on pensait pouvoir déterminer le mouvement, la position et la masse de façon absolue. Ici, la matière était appréhendée comme ce qui occupe un espace étendu, possède une certaine taille et une certaine forme et est dotée d'une masse quelconque. Cette matière pouvait être déplacée ou mue. Elle se révélait solide. Or, au début du XXe siècle, période qui marqua le début de la science moderne, cette conception de la matière est entrée en crise. L'une des raisons fondamentales de cette crise est l'élargissement du cadre conceptuel de la matière. Cet élargissement a favorisé son changement de paradigme statutaire. Au-delà des lois de la physique classique, à l'instar des lois de Newton, qui prétendaient expliquer le comportement total de la matière, des physiciens à l'instar d'Einstein, Louis de Broglie et principalement Schrödinger ont plongé le chercheur dans un monde où son intuition ne marche plus. Parmi ces savants, Erwin Schrödinger apparaît comme celui qui a beaucoup œuvré à la redéfinition du statut de la matière. L'essentiel de sa pensée est contenu dans son équation du « chat mort et vivant ». Cette équation qui est une alternative salvatrice face au calcul matriciel de Heisenberg paraît, à première vue, superflue. Pourtant, elle permet d'expliquer et de résoudre certains vieux problèmes de la physique, considérés par certains philosophes africains, à l'instar de Pierre Meinrad Hebga comme une affaire de sorcellerie et de magie. C'est le cas dans l'explication de la lévitation, de l'envoutement et du cannibalisme qui trouvent des solutions dans la maîtrise du rapport entre la masse et l'énergie d'une matière. Dans la matérialisation de son équation, Schrödinger va jusqu'à identifier la matière à l'énergie. D'où sa mécanique ondulatoire qui lui permit d'avoir tout le mérite de facilitateur de la compréhension de la matière à l'échelle subatomique. Seulement, sa non prise en charge de la masse ou du corpuscule dans la conception de la matière fait déceler un problème d'incomplétude systémique et méthodologique. Mais, cette incomplétude n'annule pas la valeur pédagogique et épistémologique de sa vision philosophique qui informe à suffisance sur le changement conceptuel de la matière, mais aussi sur l'enrichissement du langage scientifique par des concepts propres à la physique quantique.

Mots clefs : matière, physique classique, physique quantique, mécanique ondulatoire, masse et énergie.

ABSTRACT

There are two periods in the history of science: the classical period and the modern period. Both periods have the same objective, that of seeking and assigning meaning to the universe and the matter around us. However, as we move from classical to modern science, we observe a discontinuous revolution in the problem of the status of matter. In classical science, matter was regarded as an "elementary brick" whose motion, position and mass could be determined absolutely. Here, matter was understood as that which occupies an extended space, has a certain size and shape and is endowed with some mass. This matter could be moved or moulded. It was solid. However, at the beginning of the twentieth century, the period that marked the beginning of modern science, this conception of matter entered into crisis. One of the fundamental reasons for this crisis was the broadening of the conceptual framework of matter. This broadening has led to a paradigm shift in the status of matter. Beyond the laws of classical physics, such as Newton's laws, which claimed to explain the total behavior of matter, certain physicists such as Einstein, De Broglie and above all Schrödinger have plunged the researcher into a world where his intuition no longer works. Erwin Schrödinger is a philosopher who has done much to redefine the status of matter. The essence of his thought is contained in his equation of the dead and living cat. At first glance, this equation seems superfluous, providing an alternative to Heisenberg's matrix calculus. However, it allows us to explain and solve certain old problems in physics, considered by certain African philosophers, such as Pierre Meinrad Hebga, to be a matter of sorcery and magic. This is the case in the explanation of levitation, bewitchment and cannibalism, which find their solutions in mastering the relationship between the mass and energy of matter. In materializing his equation, Schrödinger went so far as to identify matter with energy. Hence his wave mechanics, which enabled him to take full credit for facilitating the understanding of matter at the subatomic level. However, his failure to take account of mass or the corpuscle in the conception of matter reveals a problem of systemic and methodological negligence. But this neglect does not negate the pedagogical and epistemological value of his philosophical vision, which provides sufficient information about the conceptual change of matter and the enrichment of scientific language by concepts specific to quantum physics.

Key words: matter, classical physics, quantum physics, wave mechanics, mass and energy.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'histoire des sciences consiste en une succession de ruptures épistémologiques. Selon qu'on va de la science classique avec les promoteurs de la physique mécanique, à la science moderne avec les partisans de la physique quantique, on verra que les dispositions méthodologiques qui déterminent le processus de recherche ont évolué en fonction des besoins et surtout de la qualité des instruments utilisés pour comprendre l'univers et la matière. En observant l'évolution de la connaissance de notre univers, nous remarquons que la science classique s'est développée sur le modèle d'une rationalité basée sur le déterminisme. Qu'il s'agisse du déterminisme de droit développé par Aristote ou du déterminisme des faits, initié par Galilée et renforcé par les partisans du Cercle de Vienne et du positivisme logique, ce modèle de rationalité faisait du sujet pensant un être qui observe la matière sans être vu. Cette conception semble avoir une justification logique avec Newton et Einstein qui vont continuer à considérer la matière, objet de connaissance, comme « une brique élémentaire » qui obéit au principe du déterminisme.

Dans la physique moderne, on observe plutôt une nouvelle rationalité poursuivant le même objectif que dans le contexte classique : la recherche et la compréhension du sens de l'univers et de la matière. Seulement, contrairement au projet scientifique classique qui consistait à penser la matière comme un objet « posé », on constate que les scientifiques modernes vont faire la promotion d'une réalité non inerte en introduisant l'étrangeté quantique dans la sphère de la connaissance. Par cette non inertie, la matière quantique qui se comporte à la fois comme onde et corpuscule complète notre perception du réel en science. Cette double réalité des particules microscopiques est d'abord observée dans les phénomènes lumineux, puis sera étendue à toute la matière. Louis de Broglie, dans le même ordre d'idées, montre que toute la matière se comporte comme une fonction d'onde, c'est-à-dire que la réalité microscopique se comporte comme une simple particule pendant l'observation et comme onde en l'absence de l'observateur. Cet état de choses confère à la matière quantique un aspect métaphysique. Par cette introduction, la science moderne nous plonge dans une nouvelle dynamique de la connaissance. Ici, le sujet a cessé d'être un simple spectateur se limitant à l'interprétation des lois de la nature et du comportement de la matière, pour devenir un acteur qui agit et donne un sens au monde. Toutefois, son implication ne saurait être sans conséquence dans la compréhension de l'univers.

La découverte de l'électron par Thomson en 1897 est le point de départ de la nouvelle physique. Mais précisément, c'est en 1901, avec Planck, qu'on parvient à démontrer que les échanges entre la matière et l'énergie qu'elle génère ne s'effectuent pas d'une façon continue, comme on le pensait dans la physique classique. Il s'agit d'un mouvement discontinu qui

s'effectue par petits paquets appelés « quanta d'énergie ». Einstein, en 1905 va montrer, grâce au mouvement brownien, que la matière à l'échelle microscopique est faite de quanta. Cette position d'Albert Einstein sur la mécanique quantique, laisse la communauté scientifique émerveillée. Au moment de la formulation de ses hypothèses, il laisse entendre que la valorisation de la probabilité dans la formulation de la théorie quantique invalidait les résultats de la mécanique classique. Selon lui, « *si la probabilité intervient dans la physique fondamentale, notre compréhension de la matière souffrirait d'une incomplétude fondamentale* »¹. Cette incomplétude est donc matérialisée par un autre scientifique idéaliste, Erwin Schrödinger, dans sa conception de la matière.

À travers la vision scientifique développée par Erwin Schrödinger, l'on sait désormais que la matière qui meuble son existence s'étend de l'infiniment grand (atome, noyau, objet) à l'infiniment petit (particules, gluon, nucléon, électron). Ces deux catégories de matière sont décrites par des lois physiques et des concepts mathématiques distincts qui permettent aux scientifiques de les expliquer de façon quasi indépendante. À la fin du XIXe siècle, les lois de la physique dite classique expliquent la majorité des phénomènes terrestres. De cette physique émergent trois grands courants qui expliquent l'ensemble des phénomènes perçus sur terre et dans son environnement proche. Le premier concerne l'étude des corps en mouvement et celle des forces qui en sont à l'origine. Le deuxième englobe tous les phénomènes ondulatoires auxquels sont théoriquement assujettis l'électricité, le son et la lumière. Le troisième, à partir de la machine à vapeur, implique tous les phénomènes physiques liés à la chaleur, d'où son nom : thermodynamique (chaleur en mouvement). La lecture de la matière à travers ces trois courants va créer un grand bouleversement en science. Elle a généré le passage de la physique mécanique à la mécanique quantique. Aujourd'hui, si les fondamentaux de la physique quantique se sont avérés fondés, quelle conception doit-on avoir de la matière ?

« *Penser la matière à l'ère de la mécanique quantique. Une analyse des textes d'Erwin Schrödinger* », tel est le thème sur lequel tablera notre réflexion au cours de cette recherche. En fait, il est question dans ce travail de montrer, à la lumière de la physique des particules ce que le monde de l'infiniment petit, c'est-à-dire corpusculaire a apporté de nouveau à l'épistémologie contemporaine. Il s'agit d'une réflexion qui consiste à réexaminer le statut de la matière à partir de la vision philosophique de Schrödinger.

En réalité, les motivations de notre réflexion sur la nature de la matière quantique à la lumière des textes de Schrödinger sont de plusieurs ordres. Tout d'abord, il s'agit de montrer

¹ Brain Greene, *L'univers élégant, Une révolution scientifique de l'infiniment grand à l'infiniment petit, l'unification de toutes les théories de la physique*, Paris, Robert Laffont, 2000, p. 185.

en quoi le formalisme quantique aurait donné des clarifications pour la compréhension de la matière. Cela veut donc dire que le premier intérêt de notre recherche est scientifique. Nous le disons parce qu'il est question pour nous de cerner le sens de l'existence, son fonctionnement et les caractéristiques de la matière, à la lumière des sciences physiques. L'enjeu d'une telle réflexion est de démontrer que même si le problème de la nature de la matière a toujours été une préoccupation scientifique chez les classiques, ce problème a cependant été résolu de façon erronée, du point de vue de la physique quantique. Le second intérêt de ce travail est anthropologique. Anthropologique parce que, s'agissant de l'homme, il est question de dire si l'existence est régie par des principes des lois physiques. En fait, le but de ce travail est de participer au débat actuel.

Au-delà des lois de Newton qui prétendaient expliquer le comportement total de la matière, on est allé plus loin avec Einstein, De Broglie et principalement Schrödinger. Avec ce dernier, on est entré dans un monde où notre intuition ne marche plus, où certains phénomènes paraissent bizarres à nos yeux. Il s'agit du monde microscopique. Ce monde trouve son explication dans la physique quantique. Cette physique explique la matière de façon progressive. Cette approche se justifie par le problème de la mesure chez l'auteur de *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie*. En fait, que ce soit dans l'ouvrage susmentionné, dans *l'Esprit et la matière*, ou dans *Ma conception en mécanique quantique*, Schrödinger estime que la matière est cette entité constituée de paquet d'ondes, mais qu'elle est davantage basée sur un principe déterministe. En examinant la nature ondulatoire de la matière, l'Autrichien(Schrödinger) remplace une entité discontinue par une entité continue. Cela le motive à formuler son équation. Equation qui n'avait encore jamais été réalisée dans la théorie classique et même dans la mécanique quantique, avant lui. Cette équation représente les électrons dans l'atome.

En outre, quand Erwin Schrödinger publie ses découvertes, le 27 janvier 1926, dans un article intitulé « *l'équation non relativiste des ondes de Louis de Broglie* », dans la revue *Annalen der Physik*, toute la communauté scientifique est ravie. Pour les physiciens, cette équation est une alternative salvatrice face au calcul matriciel de Heisenberg, demeuré pour eux complètement hermétique. De fait, qu'un chat soit mi- mort, mi- vivant, c'est une situation troublante que le monde scientifique ait jamais connue. Pourtant, cette expérience de pensée explique le phénomène des mondes parallèles et autres. Certes, la nature de la matière chez Schrödinger est ondulatoire, mais l'équation des chats montre et justifie le probabilisme scientifique. Nous parlons de probabilité, parce que notre auteur sait déjà que l'énergie peut

contenir une charge et une masse. La non prise en charge de la masse ou du corpuscule relève d'une incomplétude systémique et méthodologique. Attaché profondément à l'aspect ondulatoire, il estime que la matière trouve des justifications théoriques dans un phénomène continu. Dès lors, qu'est-ce que la matière à l'échelle quantique ?

Traditionnellement, la philosophie oppose la matière, d'une part à l'esprit (problème de la relation corps-esprit), d'autre part, à la forme. Ainsi, on peut définir la matière comme ce qui occupe un espace, possède une certaine taille et une certaine forme, puisqu'elle est dotée d'une masse quelconque, elle peut être déplacé ou mû, et se révèle solide. Cette définition explique la distinction qu'il y a entre énergie et matière. Par contre, avec l'avènement de la physique des particules, certains savants diront que la matière ne se distingue pas de l'énergie. Schrödinger va jusqu'à dire que la matière est énergie ; d'où sa mécanique ondulatoire.

Pour penser la matière à l'ère de la mécanique quantique, il faut résoudre un problème, celui du statut de la matière à l'échelle quantique, mieux de la mesure. Ce problème se solde par une volonté de détermination d'un langage approprié pour dire le réel. Partant de ce problème, nous voulons examiner comment Schrödinger conçoit la matière afin de déceler les implications du principe d'incertitude sur la connaissance de la matière. Il s'agit fondamentalement de savoir si les lois de la physique quantique donnent une lecture ou une connaissance plausible de la matière. Dans cette veine, nous sommes conscients que le projet intellectuel de Schrödinger inspire et impose tout de même une interrogation sur son approche épistémologique. À ce titre, il convient de relever ici quelques questions fondamentales : Qu'est-ce qui justifie les positions épistémologiques de Schrödinger ? Autrement dit, qu'est-ce qui justifie l'insistance sur la nature ondulatoire de la matière chez le physicien autrichien ? En bannissant totalement l'aspect corpusculaire de la matière en mécanique quantique, Schrödinger ne rejette-t-il pas un élément précieux dont l'apport est louable dans l'interprétation et la compréhension de la matière et même de l'univers ? L'équation ondulatoire peut-elle, toute seule, rendre compte de la nature de la matière dans la physique des particules ? Quelle serait la valeur heuristique ou la fécondité théorique de la conception schrodingerienne de la matière ?

Pour répondre à cette préoccupation, nous procéderons par une démarche analytique reposant sur trois parties.

Dans la première partie intitulée : *Erwin Schrödinger sur les principes fondamentaux de*

la conception microphysique de la matière, il sera question de justifier la nécessité d'un dépassement de la conception classique de la matière. Pour y parvenir, il sera davantage question de montrer en quoi les découvertes enregistrées en physique quantique ont affecté la conception que les scientifiques classiques avaient de la matière. En fait, il s'agira d'examiner la conception qu'il faudrait avoir de la matière à partir de la lecture des textes philosophiques d'Erwin Schrödinger.

Dans la deuxième partie, intitulée : *les insuffisances d'une conception partielle de la matière à l'échelle quantique*, il sera question de nous interroger sur les failles de la perception de la matière par Schrödinger.

La microphysique ou l'opportunité d'une conception réaliste de la matière, qui constituera l'aboutissement d'un examen de la pertinence et de la portée de la conception schrodingerienne de la matière, est le titre de notre troisième partie.

PREMIÈRE PARTIE :
ERWIN SCHRODINGER SUR LES PRINCIPES
FONDAMENTAUX DE LA CONCEPTION MICROPHYSIQUE
DE LA MATIÈRE

Introduction partielle

L'histoire des sciences est caractérisée par une succession de révolutions. Selon qu'on va de la science classique, avec les promoteurs de la physique mécanique, à la science moderne, avec les défenseurs de la physique quantique, on verra que les dispositions méthodologiques qui déterminent le processus de recherche ont évolué en fonction des besoins et surtout de la qualité des instruments utilisés pour comprendre l'univers et la matière. L'une des révolutions marquante de cette histoire est la discontinuité qu'on observe au sujet de la conception de la matière. Dans cette première partie de notre travail, notre objectif est d'analyser les principes fondamentaux de la révolution dans la conception de la matière à la lumière de la vision philosophique d'Erwin Schrödinger. Pour y arriver, nous allons construire un raisonnement triadique.

CHAPITRE I : LES RAISONS D'UNE VOLONTÉ DE DÉPASSEMENT DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE DE LA MATIÈRE

Les découvertes enregistrées en physique quantique ont occasionné un changement de la conception qu'on avait de la matière au cours de la période classique. Dans ce chapitre, nous nous donnons pour tâche d'examiner les raisons qui justifient la nécessité du passage de la conception mécanique à la conception quantique de la matière.

1- Les apories de l'approche positiviste de la matière

Par positivisme, nous entendons un courant de pensée développé dans la première moitié du XIXe siècle ayant pour but d'assainir le langage scientifique. Le positivisme vise à justifier le postulat selon lequel l'expérience serait la source de la connaissance. Selon Auguste Comte, ce courant permet au scientifique de ne plus poser la question du pourquoi (la chose), mais plutôt celle de comment. Par ce changement de paradigme, le positivisme prône le mode inductif comme la méthode par excellence de la construction du savoir. Il faut dire que l'induction est une méthode qui consiste à partir de l'observation pour dégager les hypothèses afin de les tester par les faits. Ce courant est le prolongement du chantier épistémologique initié par les empiristes. Ce chantier se matérialise par la question du fondement du savoir. Pour les empiristes, en général, la matière qui est l'objet à connaître est un fait posé indépendamment du sujet qui l'étudie. Selon ce courant de pensée, seules l'observation et l'expérimentation permettent de connaître véritablement la nature de la matière. Puisque,

Constatant l'inanité radicale des explications vagues et arbitraires propres à la philosophie initiale, soit théologique, soit métaphysique, l'esprit humain renonce désormais à des recherches absolues qui ne convenaient qu'à son enfance, et circonscrit ses efforts dans le domaine, dès lors rapidement progressif, de la véritable observation, seules base possible des connaissances vraiment accessibles, sagement adaptées à nos besoins réels.²

Le renoncement de l'esprit humain à cette catégorie du savoir justifie la volonté de déconstruction de savoir métaphysique. Par déconstruction, nous faisons allusion au rejet de toutes connaissances spéculatives pour une connaissance fondée et justifiée par l'observation.

² A. COMTE- SPONVILLE, *Dictionnaire philosophique*, nouvelle édition revue et augmentée, Paris, P.U.F, 2001, p. 2551.

En effet, pour les positivistes, l'observation est la condition de possibilité de la connaissance véritable. Ici, observer, c'est nécessairement connaître la matière, de manière à dire ce qu'elle est exactement, c'est-à-dire de pouvoir prédire son comportement. Il s'agit d'une observation appliquée et justifiée par les instruments de l'expérimentation. Par ce postulat, on peut dire que les sciences positivistes démontrent le caractère d'un sujet espion, celui qui observe sans être vu. À partir de là, la connaissance devient le fruit de l'extérieur essentiellement, car il suffit de voir pour connaître et dire ce qu'est la matière. Dans cette logique, on estimait que la matière devrait se livrer à nous indépendamment de notre influence. On est là au cœur de la théorie de l'œil qui décrit et approuve le résultat des faits observés. Cette théorie de l'œil est accentuée lorsque les positivistes firent du vérificationnisme un principe de démarcation entre science et non science.

Par vérificationnisme, nous entendons une méthode scientifique qui consiste à confronter les théories aux faits pour confirmer leur degré de fiabilité. Pour les défenseurs de ce courant à l'instar des membres du cercle de Vienne, « *la signification d'une proposition consiste dans sa méthode de sa vérification* »³. La finalité du principe de vérification pour les philosophes de ce Cercle, c'est l'assainissement du monde scientifique. Dans cette logique, c'est l'expérience qui est au fondement de la connaissance. C'est dire que l'expérience joue un rôle clinique. Elle a une visée thérapeutique. Cette visée consiste à éliminer la métaphysique de toutes les expressions dont la vacuité ontologique fait obstacle à la claire communication. Nous sommes là au cœur de l'indicible dont parlait Wittgenstein. Mais alors, cette conception de la matière fait-elle l'universalité ? Autrement dit, l'esprit peut-il dire la réalité dans sa totalité ? Dans un contexte de découverte par exemple, les scientifiques ne transmettent-ils pas aussi leur « *état d'esprit* »⁴ ?

Par ces interrogations, nous voulons examiner les limites de la conception positiviste de la matière. Cet examen sera possible lorsqu'on abordera la nature du rapport entre le sujet et l'objet dans les sciences cognitives et la physique quantique. Avec les sciences cognitives par exemple, on sait que toutes les théories scientifiques sont la transcription de l'image psychosocio-politico-environnementale de leurs concepteurs. Penser donc que « *la valeur cognitive d'une théorie n'a rien à voir avec son influence psychologique dans l'esprit des gens (...ou que) la valeur objective, scientifique d'une théorie... est indépendante de l'esprit humain qui*

³ A. JULES, « le Cercle de Vienne » in J. SABESTIK et A. SOULEZ (sld), *Le Cercle de Vienne, doctrines et controverses*, Paris, Méridiens Klincksieck, collection « Épistémologie », 1986, p. 74.

⁴ Selon Karl Popper, il existe deux sens du terme connaissance. D'une part, la connaissance peut être subjective c'est-à-dire liée à l'état d'esprit du chercheur et d'autre part objective.

la crée ou la comprend »⁵, est un leurre. Généralement, la vie d'un scientifique est transcrite dans sa pensée.

De façon claire, en science, toute connaissance qui est « *traitée comme quelque chose d'extérieur à l'esprit ou au cerveau des individus, et non comme quelque chose de l'intérieur* »⁶, enferme la science dans une tyrannie positiviste. Cette idée surfond de déterminisme semble contraindre le réel à s'offrir à l'homme en toute exactitude. Bernard d'Espagnat décrivait cette interprétation sous forme « *d'objectivité forte, c'est-à-dire ne se référant en rien, même pas implicitement à nos aptitudes d'être pensant capable d'observer et d'agir.* »⁷

Bien plus, au regard de l'évolution des idées en physique, il nous convient de relever que l'observateur ne peut plus prétendre décrire un phénomène sans l'influencer. Avec la mécanique contemporaine, l'on était appelé à construire un nouveau cadre épistémologique qui prend le sujet en compte dans l'étude de l'objet. C'est dire qu'avec la physique moderne, l'être humain fait partie intégrante de l'univers scientifique. Il a cessé d'être considéré comme un simple spectateur pour prendre l'image d'un acteur fondamental dans la construction du réel. Autrement dit, notre subjectivité influence l'objet à connaître. De façon explicite, tout se passe aujourd'hui comme si la nature est altruiste, c'est-à-dire qu'elle fléchirait face aux sollicitations humaines en lui cédant des éléments factuels répondant à ses préoccupations temporelles. Or, la nature n'est pas prête à s'offrir sans résistance à l'homme comme l'affirme Bernard d'Espagnat. Selon l'auteur de *Traité de physique et de philosophie*, « *il ne semble pas abusif d'estimer que si la nature refuse de nous dire explicitement ce qu'elle est, elle paraît consentir parfois, après sollicitations pressantes de notre part, à nous offrir un pan de ce qu'elle n'est pas.* »⁸ Par cette précision, on comprend précisément que notre être-au-monde n'est pas sans conséquence pour les autres composantes de la nature, fut-il, la matière ou l'objet à connaître. En interprétant la réalité dans un environnement où l'indéterminisme devient une nécessité, Issoufou Soulé Mouchili Njimom estime que « *la physique contemporaine nous reconforte dans la reconnaissance d'une absence absolue au sein des sciences contemporaines.* »⁹

Parmi les autres limites de la conception positiviste de la matière, nous retenons son absence de pertinence. En fait, en prônant la méthode expérimentale comme unique critère de

⁵ I. LAKATOS, J. WORRAL and G. CURRIE, "The Methodology of scientific Research Programmes", in *Philosophical papers*, Cambridge, Cambridge University press, 1987, p. 196. (ceci est notre traduction)

⁶ A. CHALMERS, *Qu'est-ce que la science ? Récents développements en philosophie des sciences : Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend*, Paris, Ed. La Découverte, 1987, p.196.

⁷ B. ESPAGNAT(D'), *Qu'est-ce que la matière, regards scientifiques et philosophiques*, Paris, La Flèche, 2000, pp. 8-9.

⁸ *Id.*, *Traité de physique et de philosophie*, Paris, Fayard, 2002, p. 11.

⁹ I. S. M. NJIMOM, *De la signification du monde et du devenir de l'existence*, Paris, L'Harmattan, 2017, pp. 30-31.

scientificité, les positivistes semblent ne pas tenir compte du caractère double du réel. Comme on peut le savoir, en mesurant la matière, on ne peut pas parvenir à sa connaissance absolue. Les découvertes enregistrées en physique quantique nous enseignent que lorsqu'on mesure une matière, celle-ci peut nous révéler soit sa position soit son mouvement et jamais les deux. Face à cette absence de précision, on peut se demander à la suite de Karl Paul Feyerabend « *si la vérité est une notion objective* »¹⁰. Il s'agit de savoir si la pratique scientifique est toujours rationnelle.

Cette interrogation nous conduit à une réponse négative. Nous parlons de la négativité parce que généralement la quête de la vérité échappe aux canons tracés par les positivistes. Des fois même, la vérité scientifique est incertaine. Même dans un jeu de hasard, « *l'incertitude de gagner est proportionnée à la certitude de ce qu'on hasarde selon la proportion des hasards de gains et de perte.* »¹¹ Même en science, la vérité est en partie dominée par le principe d'indéterminisme ou encore par le principe d'incomplétude. C'est sans doute cela qui avait motivé Feyerabend à plaider pour une ouverture méthodologique en science. Il s'agissait d'ouvrir le savoir au-delà de la rationalité unique encore appelée la rationalité close. Dans l'histoire de sciences, les défenseurs de ce type de rationalité à l'instar de Descartes, Hume, Schlich, Carnap, Wittgenstein, et même Popper, tenaient pour irrationnelles, les conceptions qui étaient en conflit avec l'expérience. Or, dans l'histoire des sciences, de nombreuses découvertes n'avaient pas emprunté la démarche rationnelle close. En 1831, Michael Faraday fit par une méthode non conventionnelle une découverte décisive qui allait changer à jamais la face du monde. On apprend qu'un jour, alors qu'il plaçait un jouet aimanté sur une bobine de câble, il remarquât qu'il parvenait à créer un courant électrique dans ce câble sans même le toucher. Il en déduisit que le champ indivisible exercé par l'aimant pouvait déplacer les électrons du fil de courant et ainsi produire le courant.¹²

Cette découverte, comme bien d'autres, déjouait le principe rationaliste ; et l'idée d'un fondationnalisme tout fait. Pourtant, Faraday pose dans son concept des champs de force les bases de la métaphysique contemporaine, c'est-à-dire « *une métaphysique selon le concept du physicien Abner Shimony* »¹³. En énonçant que le monde est traversé par un champ magnétique du pôle nord vers le pôle sud, il affirma que « *l'espace vide n'est pas vide mais plutôt rempli de*

¹⁰ P.K. FEYERABEND, *Adieu la raison*, traduit par B. JURDANT, Paris, Seuil, 1989, p. 22.

¹¹ E. COUMET, « La théorie du hasard est-elle née par hasard ? », in *Annales. Economies, Sociétés, Civilisations*, n° 3, 1970, p. 588.

¹² M. KAKU, *La physique de l'impossible* (2008), traduit de l'américain par Céline Laroche, Paris, Seuil, 2011, p. 21.

¹³ M. BJOWAL, *L'univers en rebond*, Paris, Albin Michel, 2011, p. 14.

lignes de forces capables de mettre en mouvement des objets même éloignés. »¹⁴ Ce projet n'était pas construit à partir des postulats mathématiques mais plutôt partant des dessins et des diagrammes. Michio Kaku affirme : « *son manque de connaissances mathématiques le conduisit à créer les magnifiques diagrammes de lignes de forces que l'on trouve aujourd'hui dans tous les manuels de physique.* »¹⁵ Les éléments immatériels construits par Faraday ont été justifiés. Les champs de forces de Michael Faraday invisibles furent ainsi interprétés quantitativement par les équations différentielles d'Isaac Newton par James Clerk Maxwell, en confirmant le postulat selon lequel le vide est constitué de plusieurs entités perceptibles seulement par un dispositif expérimental.

À la suite de toutes les objections ci-dessus mentionnées, on peut dire que le positivisme n'a pas donné à l'humain l'opportunité d'avoir un savoir clair sur la nature de la matière, partant d'un dispositif expérimental. Il nous a empêché de construire un système de connaissance sur le principe d'objectivité absolue. Ainsi, la logique des découvertes scientifiques avait démontré que certains résultats échappent bel et bien à la tradition rationaliste et obéissent plutôt à des principes définis par les fondamentaux de la physique quantique. La prise en compte de ce postulat est ce qui a poussé l'homme, de se projeter vers l'exploration de l'infiniment petit, perçu comme champ expérimental nouveau qui prend en compte le caractère ondulatoire de la matière. Sachant qu'Erwin Schrödinger est l'un des pères de la microphysique, nous cherchons quelle conception a-t-il de la matière ?

2- Erwin Schrödinger sur l'essence de la matière

Erwin Schrödinger naquit le 12 août 1887 à Vienne et mourut le 04 janvier 1961. Sa tombe se trouve à Alpbach, dans le Tyrol, au milieu des montagnes. Son père, Rudolf Schrödinger, possédait une manufacture de toile cirée. Il avait fait des études de chimie et s'intéressait à la peinture et à la botanique. Il publia une série d'articles scientifiques sur ce dernier sujet. Erwin fut leur fils unique, doté comme son père d'un sens élevé aussi bien pour les sciences que les arts. Il fut un élève particulièrement doué, toujours premier de la classe, s'adonnant aussi bien aux mathématiques, à la physique qu'à la grammaire des langues anciennes et à la poésie allemande. Il n'aimait pas l'histoire, jugée trop événementielle. Il excellait tout particulièrement en mathématiques et en physique, disciplines qu'il pratiquait aisément.

Étudiant, il fut autant amateur de théâtre, particulièrement des œuvres de Grillparzer, que de physique. Il faut le dire, Schrödinger commença à suivre l'enseignement de physique

¹⁴ M. KAKU, *op.cit*, p. 21.

¹⁵ *Id.*

théorique à l'Université de Vienne en 1907, lorsque cet enseignement fut réouvert par Hasenohrl, deux ans après la fin tragique de Boltzmann. C'est donc dans la pensée de ce dernier que Schrödinger fut élevé. Il occupa plusieurs postes du fait de son activisme. En 1916, il fut mis au contact de la théorie générale de la relativité d'Einstein. Plus tard, il s'intéressa également à la philosophie, aux écrits de Mach et d'Avenarius, ainsi qu'à ceux de Spinoza et de Schopenhauer. En 1920, Schrödinger devint assistant à Iéna auprès de Max Wien, et bientôt professeur extraordinaire. Ses travaux de l'époque concernaient aussi bien la thermodynamique statistique que la première théorie de la relativité, ou la théorie de la vision des couleurs.

En 1926 furent publiés coup sur coup ses cinq articles sur la mécanique ondulatoire qui forment sa contribution fondamentale à la formalisation de la deuxième théorie quantique. Les travaux de Schrödinger sur la mécanique ondulatoire résultent de la nécessité de procéder à une rationalisation plus approfondie des conditions de quantification. Il fut influencé par les travaux réalisés par Louis de Broglie en 1924. Comme on peut le savoir, Louis de Broglie avait pu associer un électron à une onde. À partir de l'analyse de cette expérience, Schrödinger a réalisé une fonction d'onde qui lui a valu le Prix Nobel, qu'il partagera avec Dirac en 1933.

À la suite de ce rappel biobibliographique de Schrödinger, nous chercherons à comprendre la conception qu'il a de la matière. Pour y arriver, nous devons répondre à quelques questions très fondamentales à savoir : qu'est-ce que la matière et comment a-t-elle connue un changement de vecteur avec l'avènement de la mécanique quantique ? Comment se manifeste-t-elle selon Schrödinger ?

Traditionnellement, on distinguait deux types de matière. On avait d'abord la matière vivante caractérisée par sa singularité et son individualité. Ici, on faisait allusion à la matière soumise au processus de changement et de mouvement. Or, ce changement, selon Erwin rend difficiles la généralisation et la prédiction. En biologie végétale, par exemple, toutes les plantes ne sont pas soumises au même principe de métabolisme. Les animaux, quant à eux, n'ont pas les mêmes principes d'adaptation et de préservation. S'agissant des humains, le goût est relatif.

Aussi, on parlait de la matière inerte, fixe et immobile. Cette matière était considérée comme objet des sciences visibles, mieux de la physique classique. On sait qu'avec les matières inertes, même si la certitude et la prévision ne sont pas absolues, elles sont plus ou moins probables. Cette probabilité se justifie par le fait que les corps inertes ne sont soumis à aucun acte autonome et libre. Une feuille morte par exemple, lâchée en chute libre, ne subit que l'influence de l'observateur et de la loi d'attraction. Une pierre attend un effet extérieur pour se mouvoir. Dans une continuité historique complète de la philosophie de Leucippe et Démocrite, il est noté que la matière est constituée de particules, séparées par des distances relativement

grandes. Cette matière est même insérée dans l'espace vide.

Cependant, l'avènement de la microphysique (physique quantique) pousse la vision scientifique au-delà de la matière visible. Ici, la matière est ce que notre esprit nous permet de connaître. Elle est une représentation de l'esprit, c'est-à-dire une image construite et non enregistrée dans notre esprit. Par ce changement d'attitude psychologique vis-à-vis du réel, la physique élargit son champ d'investigation à la matière vivante. Autrement dit, elle étudie désormais les matières inertes et vivantes.

En outre, contrairement à nos convictions et croyances pendant la deuxième moitié du XIXe siècle, notre conception de la matière s'est révélée beaucoup moins matérialiste. Cette révélation explique clairement pourquoi, pendant les dix-neuf premiers siècles de notre ère, précise Schrödinger, nos conceptions de la matière (objet essentiellement palpable) étaient encore « très imparfaites », et manquaient de clarté à bien des égards. Mais aujourd'hui, précise-t-il, on peut dire que, « *la matière a cessé d'être cette chose simple, palpable, résistante, qui se meut dans l'espace, dont on ne peut suivre la trajectoire, dont chaque partie peut être suivie dans son propre mouvement.* »¹⁶. Pour comprendre cette nouvelle conception de la matière, nous nous proposons d'analyser la question d'individualité et d'identité d'un élément de la matière à savoir l'atome.

Dans la conception ancienne, les atomes sont individuels et identifiables. Ils sont considérés comme des petits corps en tout point, en tout temps et en tout lieu, semblables aux objets observables et signifiants qui nous entourent. Avec l'évolution des sciences, on observe que la question d'individualité et de l'identité des atomes n'a réellement aucune signification puisque, quand on observe une particule d'un certain type, à l'instar de l'électron, la réalité du temps et de l'espace, mieux de l'espace-temps nous dispose de l'observer en principe comme une tribu d'événement isolé. Schrödinger précise à cet effet que,

Même si on observe une particule similaire un très court instant après un endroit très proche du premier, et même si on a toutes les raisons de supposer une connexion causale entre la première et la seconde observation, l'affirmation selon laquelle c'est la même particule qui a été observée dans les deux cas n'a aucune signification vraie, dépourvue d'ambiguïté. Les circonstances peuvent être telles qu'il soit hautement convenable et désirable de s'exprimer de cette façon, mais c'est seulement une façon abrégée de parler ; car il y'a d'autres cas où « l'identité » devient entièrement dénuée de sens ; et il n'y a pas de frontière nette, pas de distinction claire entre ce cas, il y'a une transition graduelle à travers les cas intermédiaires.¹⁷

¹⁶ *Ibid.*, p. 33.

¹⁷ *Ibid.*, p. 37.

À en croire Schrödinger, il faudrait admettre que le réel est toujours cerné en fonction d'un environnement référentiel. Un tel postulat se justifie par le fait que, d'un environnement à l'autre, notre vision sera faussée comme par une énorme lentille. La probabilité décimale de connaître, de mesurer et de prévoir un événement(A) dans un environnement(X) dont on maîtrise le fonctionnement est essentiellement et sensiblement égale 9/10. Nous sommes donc obligés d'affirmer sous la plume de Schrödinger que les constituants ultimes de la matière n'ont aucune identité. Puisque : « finalement nous pouvons observer que tous les objets tangibles qui nous entourent sont composés de molécules, qui sont composées d'atomes, qui sont composés de particules élémentaires, et si ces derniers n'ont pas d'individualité, comment par exemple ma montre-bracelet peut-elle posséder. »¹⁸

Dans les sciences physiques, il est démontré que les particules ne sont pas individuelles ni dualistes. Or, lorsqu'on en vient à comparer une particule élémentaire et un corps palpable (corps humain, montre...) de notre vécu auquel nous attribuons une identité individuelle, un dilemme plus ou moins insoluble s'installe en nous et plonge notre conscience dans une situation trouble. Ce trouble est dû au fait que la constitution du réel semble contredire la considération ci-dessus caractérisant les particules. Fort heureusement, on sait avec Erwin Schrödinger qu'

*un certain nombre des particules constituent un atome. Plusieurs atomes s'unissent pour constituer une molécule. Il y a des molécules de différentes dimensions, des petites et des grandes, mais il n'y a pas de dimension limite à partir de laquelle une molécule est qualifiée de grande. En fait, il n'y a pas de limite supérieure à la dimension d'une molécule, elle peut contenir des centaines de milliers d'atomes. Elle peut-être un virus ou un gène, visible sous le microscope. Finalement, nous pouvons observer que tous les objets tangibles qui nous entourent sont composés de molécules, qui sont composées d'atomes, qui sont composés des particules élémentaires.*¹⁹

Par cette clarification, on peut dire que la conception schrödingerienne de la matière s'inscrit en opposition avec la conception que les classiques à l'instar des Démocrite et Leucite avaient dû composer de la matière. Si pour les classiques, la matière est une brique élémentaire, c'est-à-dire une réalité qui s'oppose à l'immatériel et l'étoffe, mieux ce en quoi les choses sont faites, par opposition à la forme qu'on leur donne, Schrödinger pense que cette conception de la matière est biaisée. La conception Schrödingerienne est proche du sens einsteinien où la matière représente l'immense réservoir d'énergies. C'est dire que l'énergie elle-même représente la matière. Nous parlons de proximité et non d'identité parce que, « dès le débat

¹⁸ *Ibid.*, p. 38.

¹⁹ *Id.*

des années 1927-1928 écrit Michel Bitbol, *sur l'interprétation de la physique quantique*, Schrödinger se prononce pour l'abandon complet des concepts classiques de position et de quantité de mouvement soumis aux relations d'indétermination de Heisenberg. »²⁰ à partir de cette démarcation, on peut dire que les progrès de la mécanique quantique ne faisaient pas l'unanimité entre les savants. Certains physiciens étaient animés par la volonté réelle d'appliquer quelques lois anciennes au niveau de l'infiniment petit. Parmi ces physiciens qui manifestaient le déni de la révolution radicale, on a : Albert Einstein, Louis de Broglie et Erwin Schrödinger. Dès lors, quelle est la particularité de la conception Schrödingerienne de la matière.

De façon conventionnelle, les physiciens classiques avaient intégré une loi de façon unanime. L'essentielle de cette loi est que pour construire un système physique, fut-il dans l'infiniment petit, l'on devait tout soumettre à la loi de prédétermination. Mais, Schrödinger dans ses travaux scientifiques, s'évertuera, à travers des calculs mathématiques, particulièrement la fonction d'onde Ψ , à faire passer les idées déterministes et de causalités, développées par l'École de Copenhague, dans un contexte où ces principes semblent être dépassés. C'est ce qui fait dire à Michel Bitbol que Schrödinger, dans sa conception du réel avait abandonné la trajectoire qui : « *équivalait à abandonner la particule* ». ²¹ Pourtant, cette façon de concevoir le réel n'est pas sans effet sur les philosophes de la physique quantique à l'instar de Heisenberg.

Comme on peut le savoir, la relation d'indétermination de Heisenberg est obtenue à partir de l'équation de Schrödinger. Cette relation implique que l'on ne puisse pas déterminer expérimentalement avec la même précision, la position et la quantité de mouvement d'électron. Le produit des incertitudes sur la position et la quantité de mouvement est de l'ordre de grandeur du quantum d'action. La relation d'indétermination découle aussi bien de la nature ondulatoire que de la dimension probabiliste des phénomènes. Elle a été, la source de nombreuses discussions sur la rationalité de la mécanique quantique, sur la validité des principes de causalité et de continuité dans la mécanique de l'atome.

Selon l'interprétation dite de Copenhague de la mécanique, proposée par Bohr dès 1927, l'aspect corpusculaire et l'aspect ondulatoire sont complémentaires, au sens où toute précision sur l'un se paie d'une imprécision sur l'autre. Qu'ils soient complémentaires signifie que dans tout le dispositif expérimental on observe une interrelation entre ces deux dimensions du

²⁰ E. SCHRÖDINGER, *Physique quantique et représentation du monde*, introduction et notes par Michel Bitbol, Paris, Seuil, 1992, p. 8.

²¹ M. BITBOL, « Le corps matériel et l'objet de la mécanique classique », in F. MONNOYEUR, (sld.), *Qu'est-ce que la matière ? Regard scientifiques et philosophiques*, Paris, La Flèche, 2000, p. 187.

phénomène. L'interprétation de Bohr est fondée sur l'idée de cette interaction entre l'appareil de mesure et le phénomène. Seule la prise en considération de cette interaction permet de faire apparaître une rationalité globale, par complémentarité des différents aspects des phénomènes. Dans le cadre de cette philosophie, une description causale entièrement univoque est impossible. Certains physiciens n'ont cependant pas renoncé à l'idéal de l'explication causale. Notamment Planck, Einstein, de Broglie et Von Laue qui a, tout comme Schrödinger répudié l'interprétation de Copenhague.

L'un des points qui fait l'originalité de la pensée de Schrödinger est sa démarcation avec certains fondamentaux de la mécanique ondulatoire telle que formulé par Max Born et les partisans de Copenhague. L'histoire de science nous enseigne que Schrödinger n'a pas accepté l'interprétation probabiliste que Max Born a donné de la fonction d'onde dans la constitution de la matière. Il a cherché à concevoir l'électron comme groupe ou paquet d'ondes. Il n'a pas non plus accepté l'interprétation de Copenhague, qui lui paraissait une interprétation transcendantale, pour ainsi dire « psychique, ou idéaliste » de la mécanique ondulatoire. Son point de vue restait celui des conceptions classiques. Dans son article connu sous le titre de « *la situation actuelle de la mécanique quantique* » Michel Bitbol observe qu'en 1935, Schrödinger réaffirmait déjà sa perception aigüe d'un renouvellement de grande ampleur. L'essentiel de cette perception est qu'en mécanique ondulatoire, « *des modèles constitués, comme en physique classique, de « variables qui se déterminent mutuellement sans équivoque* » ne sauraient plus prétendre décrire fidèlement l'apparaître naturel. ²²

Par la perception ci-dessus, Schrödinger veut redéfinir la place de la métaphysique en science. Pour lui, il faut limiter le rôle de la métaphysique dans la science, mais la préserver en même temps en tant que soutien indispensable de notre connaissance. Sans la métaphysique, la science aussi bien que l'art ne seraient que « squelettes pétrifiés ». La métaphysique est, pour Schrödinger, l'avant-garde de la connaissance. Car, en principe aucun modèle n'est conforme à notre intuition des objets à grande échelle. Autrement dit, « *aucune représentation spatio-temporellement continue, ne rend correctement compte des faits observés à l'échelle atomique. La solution qui se présente le plus immédiatement à l'esprit revient à écarter définitivement l'espoir d'une telle représentation* ». ²³ C'est donc dire que l'onde est la caractéristique principale de la matière d'après le physicien viennois.

Pour justifier cette conception de la matière qui n'est ni classique ni purement moderne, Erwin Schrödinger a développé une expérience de pensée. Cette expérience est reçue en

²² *Id.*

²³ *Ibid.*, p. 13.

physique comme une hypothèse de travail irréalisable. Elle est considérée comme la matérialisation d'un souci dont le but est de balayer, d'un revers de la main, le travail abattu par les défenseurs de la double nature de l'atome onde et particule. Schrödinger, prix Nobel de physique, croit plus fondamentalement à la réalité ondulatoire de la matière. Il opte pour « *la mécanique ondulatoire, qui porte à son paroxysme l'exigence de continuité spatio-temporelle, tout en lui adjoignant un schème interprétatif propre à exploiter pleinement l'information sur les faits dont sont porteurs ses opérateurs et sa fonction d'onde* »²⁴.

En clair, la lecture qu'on peut avoir du statut de la matière chez Schrödinger est que, dans la vieille conception des particules et d'atomes, l'individualité des choses étaient basées sur l'identité des matériaux dont elles sont faites. Ici, tant qu'on se trouve dans le macrocosme que dans le microcosme, le réel a la même nature. Il est constitué des particules-ondes corpusculaires. Toutefois, il faut noter que, si on peut expérimenter instantanément les particules d'ondes et de corpuscules dans le macrocosme, il est strictement impossible de faire pareil dans le microcosme. Dans le monde microscopique, les particules s'expriment de manière isolée. Néanmoins, dans les deux mondes, le réel est une construction de l'esprit. Avec l'évolution des idées en physique, ce réel est identifié comme un phénomène. Il s'est agi du phénomène quantique. Des lors, quelle peut être la nature de ce phénomène et quel est son impact dans le débat qui opposait les nominalistes et réalistes au sujet de l'origine de l'objet à connaître ?

3- Le phénomène quantique ou la fin du mystère entre Nominalisme et Réalisme

Par Nominalisme, nous entendons une doctrine philosophique qui considère que les concepts sont des constructions humaines et que les noms qui s'y rapportent ne sont que conventions de langage. Cette doctrine s'oppose très souvent au Réalisme qui est la tendance à voir ou à représenter les choses telles qu'elles sont réellement. C'est un principe qui stipule que les universaux existent en dehors de l'esprit. Contrairement à cette idée défendue par les nominalistes, les réalistes soutiennent que toutes les choses qui existent sont les produits de l'esprit. Dans la période moderne, ce débat sur l'origine de la matière est prolongé par les physiciens autour du statut du réalisme physique. Ce problème qui stipule la possibilité d'une description de la réalité indépendante cache dans son arrière-plan un nouveau problème : celui du rapport entre le sujet et l'objet.

Ce qui rend fondamentalement ce problème du rapport de dépendance entre le sujet et l'objet, c'est la fécondité épistémologique qu'il apporte dans la connaissance du réel. En

²⁴ *Ibid.*, p. 14.

observant de manière neutre les innovations scientifiques, on se rend compte que « *l'expérience surgit en même temps que les suppositions théoriques et non avant elles...* »²⁵. Contrairement donc aux nominalistes et réalistes, on peut dire que la plausibilité de l'intuition est un guide important sur le chemin de la vérité. Elle doit exister au même degré que l'expérience et les considérations formelles. En réalité, la science évolue lorsque les capacités intuitionnistes et instinctives de l'individu se développent. On peut donc penser à la suite de cette explication qu'il n'y a pas de conception universelle des faits. Nous voulons démontrer que chaque chercheur a ses modes de représentation du réel qui sont incompatibles avec ceux des autres, mais normalisés par les principes de la scientificité que sont : la logique, l'universalité et la nécessité.

En fait, la pensée intuitive touche à ce qu'il y a de plus vital en l'homme ; c'est-à-dire ses motivations. Contrairement à la physique classique qui étouffe la créativité en provoquant des nœuds d'angoisse à la suite d'un sentiment opprimé, la physique moderne nous permet de vivre dans un monde tissé au-delà de nos pensées. On peut donc dire qu'à travers l'instinct et l'imagination, on a le sentiment de maîtriser et de renforcer la réalité. Car, dans l'ordre du savoir, les effets de la pensée instinctive de la pensée sont plus rapides et plus profonds puisqu'ils touchent en permanence les racines de l'être. Bergson reconnaît donc à ce sujet une continuité épistémologique de l'intuition à l'intelligence. Dans *L'évolution créatrice*, il nous rappelle qu'« *il y a des choses que l'intelligence seule est capable de chercher, mais que par elle-même, elle ne trouvera jamais. Ces choses, l'instinct seul les trouverait, mais il ne les cherchera jamais* »²⁶. Dire autrement, l'intuition est une faculté de connaître.

Schrödinger parle à ce sujet d'esprit qui visite et construit le savoir. Il estime qu'on doit remplacer le sujet par l'esprit. Car c'est l'esprit qui, en observant construit le savoir. Or, de façon chronologique, c'est Emmanuel Kant qui essaye de mettre fin à cette querelle opposant réalistes et nominalistes. Ce qui nous motive à étudier la philosophie de Kant, c'est qu'elle est éclairante quant à notre thématique, dès lors qu'elle détachait la science du réel en soi, et se limitait à lui donner les phénomènes pour objets.

Dans le chapitre sur les antinomies de la raison pure, Kant a voulu « *déterminer le domaine dans lequel les concepts de l'entendement peuvent légitimer et être misent en œuvre pour l'édification d'une véritable connaissance.* »²⁷ pour la simple raison

²⁵ K. P. FEYERABEND, *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchique de la connaissance*, traduit par B. JURDANT et A. SCHLUMBERGER, Paris, Seuil, 1979, p. 184.

²⁶ H. BERGSON, *L'évolution créatrice*, Paris, Alkan, 1907, p. 152.

²⁷ E. KANT, (1781), *Critique de la raison pure*, traduit par Alain Renaut, Paris, Garnier-Flammarion, 2006, p. 403.

qu'il pense que la raison est prétentieuse. Pour lui, la présomption de la raison qui méconnaît sa véritable destination est le propre de la connaissance. La question que Kant pose est de savoir le rapport qui existe entre notre représentation de l'objet et l'objet lui-même. Or, Kant pense que la comparaison de deux objets nécessite que nous ayons ces deux objets en face de nous. Schrödinger partage ce point de vue, tout en montrant que l'esprit est le mieux placé pour fonder la connaissance. La matière devient à ce niveau fonction de l'esprit qui observe et construit et non posée et ou représentée comme les réalistes et nominalistes le pensaient.

C'est ici qu'apparaît la question de l'apriori, chez Schrödinger, et c'est un thème central dans la philosophie de Kant. Pour Kant, lorsque nous parlons de l'espace par exemple, il s'agit là d'un apriori et non empirique. C'est dire que l'espace pour lui ne vient pas de l'expérience, il est indépendant de nous. Il s'agit selon Schrödinger d'une assertion qui a un rôle de premier plan chez Kant. Pour se justifier, Kant relève que

*Pour que je puisse me représenter les choses comme n'étant pas seulement différents mais placés en des lieux différents, il faut que la représentation de l'espace soit déjà posée comme fondement. Cette représentation ne peut donc être tirée par l'expérience des rapports entre les phénomènes extérieurs.*²⁸

Erwin Schrödinger reconnaît que l'argument de Kant, pour rendre crédible l'a priori est logique et pertinent. De cette affirmation de Kant, il ressort que le fait de nager ou d'aller en bicyclette est innée et non une affaire d'apprentissage. En effet, nous dit Schrödinger, nous avons en nous une faculté d'apprentissage. C'est cette faculté que Kant ignore. Mais Kant ne dit pas les choses exactement comme telles. En supposant même qu'il existe un temps et un espace en soi, notre auteur se pose la question de la nécessité et même de l'utilité de l'a priori.

Quoi qu'on dise, ce que vise Kant, c'est la reconnaissance certaine de l'esprit à construire et se représenter la matière. Kant reconnaît tout de même que le réel contient toutes les choses possibles, mais nous ne pouvons voir que leur manifestation car, les choses elles-mêmes nous échappent. Il y a donc selon le philosophe des Lumières une limite de l'homme dans sa perception de la matière. En lisant son *Esthétique transcendantale*, on constate que

Comme nous ne saurions voir dans les conditions particulières de la sensibilité les conditions de la possibilité des choses mais celles seulement de leur manifestation, nous pouvons bien dire que l'espace contient toutes les choses qui peuvent nous apparaître extérieurement mais non pas toutes les choses en elles-mêmes qu'elles

²⁸ *Id.*

*soient ou non perçues intuitivement et quel que soit le sujet qui les perçoivent.*²⁹

Pour Schrödinger, ce que Kant dit est approximativement juste. En effet, on ne pouvait comprendre à l'époque de Laplace, que la matière, ainsi que tous les êtres sont dans l'espace, car les connaissances de cette époque ne le leur permettait pas. C'est dire que les réalistes ont tort, non seulement en rejetant l'idéalisme sous toutes ses formes mais aussi par le fait de penser que l'espace et le temps sont des réalités absolues, en tant que relevant d'une évidence première de la raison. Cependant, les idéalistes critiques ont aussi tort, lorsqu'ils affirment que Kant a tout dit en posant que l'espace et le temps représentent le cadre à l'intérieur duquel la raison doit évoluer. C'est-à-dire le cadre en dehors duquel il n'est pas possible pour l'être humain de connaître le réel. Dès lors, l'idée selon laquelle l'espace est l'ensemble des phénomènes que l'esprit encadre, n'est d'après notre auteur qu'une idée reçue. Or, en constatant que l'espace et le temps qui servent de fondement à notre connaissance ne sont pas nécessairement a priori, un tel scepticisme conduit ipso facto à la contestation de la révolution copernicienne comme étant une nécessité et dont une possibilité de comprendre autrement la matière.

Pour sortir de la difficulté de l'a priori, Kant fut obligé de souligner que « *nos sciences ne décrivent pas les choses en soi, elles nous fournissent seulement les représentations humaines des phénomènes* »³⁰ Ainsi, tout comme Copernic qui avait révolutionné la cosmologie en son temps, en affirmant que c'est la terre qui tourne autour du soleil et non le contraire, Kant a pu dire à cet effet que « *ce sont les phénomènes qui se règlent sur les facultés humaines et non pas l'inverse comme on le croyait jusqu'à lors* »³¹.

Finalement, Kant croyait atteindre la vérité par les phénomènes. Les noumènes étaient pour lui de l'ordre de l'inconnaissable. Selon Abner Shimony, c'est par ce que Kant avait finalement compris que la science est incapable de décrire la chose en soi, qu'il pensait grâce à sa révolution d'être parvenu à la connaissance certaine. Or, avec les nouvelles découvertes faites en physique et en mathématique entre le XIXe et le XXe siècle, le cas par exemple du théorème de Gödel qui dans son premier théorème d'incomplétude déclarait que « *tout système d'axiome qu'on utilise pour faire au moins de l'arithmétique est soit incomplet, soit incohérent* »³². La conséquence ici est que ce n'est qu'en référence à l'homme et aux dimensions de ce dernier que la réalité empirique est applicable.

Il ressort que la différence entre la science de Kant et la mécanique quantique se situe au niveau

²⁹ *Ibid.*, p. 407.

³⁰ *Ibid.*, p. 328.

³¹ *Ibid.*, p. 329.

³² D. LOUAPRE, « Théorèmes d'incomplétudes de Gödel », in *Sciences étonnantes, documentaire mis en ligne le 9 décembre 2016, consulté le 22 octobre 2022.*

de la réalité empirique.

Kant a certes tranché le débat entre nominalisme et réalisme, en montrant désormais qu'on ne peut connaître de la matière que ce qu'on y met de nous-même. Seulement, est-il tombé dans le piège de la réalité de la matière lorsqu'il estime que seuls les phénomènes nous sont accessibles et jamais les noumènes.

Cette façon de voir les choses a donc permis à la mécanique quantique de révolutionner la réelle compréhension de la matière en parlant plus de « phénomène quantique » que de matière. Nous devons cette révolution à Born qui de façon systématique a parlé du phénomène. Ainsi, qu'est-ce que le phénomène quantique et quelles peuvent être ses caractéristiques ?

CHAPITRE II : LA MÉCANIQUE QUANTIQUE : UNE RÉVOLUTION DANS LA CONCEPTION DE LA MATIÈRE

Dans ce chapitre, notre tâche consistera à justifier l'impact révolutionnaire de la mécanique quantique dans les sciences, en général et, particulièrement, dans la conception de la matière. Pour y arriver, nous analyserons tout d'abord l'incongruité du déterminisme d'Hippocrate et de Newton dans la compréhension du réel ; ensuite l'idée de non-inertie de la matière ; pour enfin évaluer la notion de la discontinuité de celle-ci.

1. De l'incongruité du déterminisme d'Hippocrate et de Newton dans la compréhension du réel.

Par déterminisme, il faut entendre, une doctrine philosophique selon laquelle les phénomènes naturels et les faits humains sont causés par leurs antécédents. Il est d'après Trinh Xuan Thuan, « *un enchaînement de cause à effet entre deux ou plusieurs phénomènes* »³³. On trouve la matérialisation de cette doctrine dans la métaphysique traditionnelle qui estimait qu'il existait un principe immanent qui engendrait toute chose. Dans sa physique, Aristote part des lois de quatre causes encore appelées principes de causalité pour justifier le principe déterministe. Selon lui, toute chose découle d'une cause causée par une autre cause non causante. Il s'agit de la cause initiale. Ce principe de causalité trouve une justification fondamentale dans la géométrie euclidienne qui semble être le prolongement de la géométrie telle que pensée en Egypte antique.

Comme on peut le constater, la géométrie euclidienne a favorisé la promotion du principe de déterminisme. Dans cette géométrie, le débat est accentué sur la position de la terre en rapport avec le ciel. S'agissant de la position de la terre, Ptolémée considère la terre comme une surface plane et statique. Dans cet ordre de pensée, il estima que l'espace céleste semblait stable et les astres présentaient une apparence fixe pour l'observateur. Ici, l'intuition ptoléméenne se fondait sur le mythe égyptien selon lequel, le soleil se levait quelque part et se couchait le soir. Ce postulat nous situe dans un déterminisme, qui laisse croire que pendant la nuit, le soleil empruntait le chemin inverse en passant par l'intérieure de la terre plate pour se retrouver au point de départ.

³³ T. XUAN THUAN, *Dictionnaire amoureux du Ciel et des étoiles*, Paris, Plon/Fayard, 2009, p. 219.

Comme nous avons souligné dans le rapprochement de Ptolémée à la pensée égyptienne, l'intérêt de l'homme pour la maîtrise et la gestion de l'espace remonte à l'Égypte pharaonique. Aux bords du Nil, les arpenteurs se servaient de la géométrie pour partager des espaces cultivables. L'espace physique décrit était une surface plane, finie, délimitée par des segments de droites. Michel Serres affirme que « *Hérodote raconte les partages agraires de Sésostris et l'importation en Grèce de la géométrie* »³⁴. L'efficacité de la géométrie égyptienne antique a aussi facilité le calcul de certaines surfaces complexes, comme le souligne « *Diogène Laërce, Plutarque rapportent que Thalès mesura la grande pyramide* »³⁵. Il faut dire que les axiomes mathématiques antiques s'apparentaient à une théorie finie, loin de toute remise en question. La raison d'un espace fini tire sa fécondité de la conception de la matière par les philosophes spiritualistes qui avancent que « *la matière existe et a été créée par Dieu, en quantité limitée* »³⁶. Cette vision de l'univers héritée par l'Égypte antique reconforte bien la description d'un espace fini par Euclide. Platon, héritier de l'école des mystères des Memphites et des Saïtes, va également dans le même sens. Luc Brisson souligne à cet effet que « *le demiurge dans le Timée fabrique l'univers à partir des corps géométriques les parfaits* »³⁷.

L'ouverture apportée par Lobatchevski a modifié de façon significative la conception de l'espace. Henri Poincaré affirme dans ce sens que « *l'on peut par un point mener plusieurs parallèles à une droite donnée* »³⁸. À partir de là, on se rend compte que la somme des angles, d'un triangle est supérieure ou inférieure à 180 degrés. En se limitant à la gestion d'espace agricole, le monde n'aurait pas eu certainement besoin de sortir de l'espace euclidien. Son importance s'avère d'actualité, si on se limite à l'observation ou à l'utilisation des surfaces finies par la géométrie euclidienne comme seule référence en physique. Un progrès ne pouvait être prévu, partant de l'argument selon lequel Dieu aurait créé une quantité de matière limitée. De ce point de vue, Robert Boyle s'oppose à cette métaphysique et à cette théologie du cosmos. Il pense que « *les lois de Dieu ne peuvent être découvertes qu'a posteriori* »³⁹. Ceci suppose une nécessaire ouverture pour permettre une meilleure description des phénomènes de la nature. Ainsi, pour bien interpréter le comportement de la matière dans l'univers, il fallait envisager une nouvelle méthode de traitement de données de l'espace pour comprendre les différents

³⁴ M. SERRES, *Les origines de la géométrie*, Paris, Flammarion, 1957, p. 167.

³⁵ *Id.*

³⁶ F. MONNOYEUR, « la matière et les esprits : Henry More et Robert Boyle » in F. MONNOYEUR (sld.), *Qu'est-ce que la matière ? Regards scientifiques et philosophiques*, Paris, Librairie Générale Française, 2000, p. 93.

³⁷ L. BRISSON, « La Khora dans le Timée de Platon » : ce en quoi se trouvent et ce de quoi sont constituées les choses sensibles », in F. MONNOYEUR (sld.), *op.cit.*, P. 39.

³⁸ H. POINCARÉ, *La science et Hypothèse(1902)*, s.l., édition du groupe www.ebookgratuits.com, 2007, P. 27.

³⁹ F. MONNOYEUR, *op. cit.*, p. 93.

mouvements des astres, puis envisager la métrique des espaces physiques à grande échelle. Ce que les lois d'Euclide étaient incapables de faire. Pour justifier cette limitation du pouvoir de la physique euclidienne, Jean Leroux estime que dans les faits, « *les propriétés topologiques de l'espace perpétuel ou intuitif y sont considérés comme étant synthétique a priori* »⁴⁰. Cette précision est ce qui justifie le détachement du déterminisme de droit pour une nouvelle forme de déterminisme. Il s'est agi du déterminisme de fait pensé et formalisé par Hippocrate. Pour Hippocrate, la matière doit être localisable. Cette nouvelle forme du déterminisme a trouvé un champ fertile dans le déterminisme scientifique d'Isaac Newton.

Dans sa vision du réel, Newton a réussi à découvrir des lois qui ont dominé la cité scientifique. Ces lois répondaient à trois critères fondamentaux à savoir : la causalité, la prédictibilité et l'exactitude. Ces critères permettaient au scientifique d'avoir une meilleure interprétation de l'espace. Par ces critères, Newton avait réuni à dégager les lois du mouvement sur le comportement de la matière, lesquelles lois ont influencé toute la mécanique classique. Parmi ces lois, nous pouvons énumérer la loi de la gravitation universelle et le principe d'inertie. Dans l'ensemble, les travaux de la mécanique classique sur la philosophie de la nature étaient devenus une référence fondamentale pour toute personne voulant décrire et interpréter le sens d'un corps statique ou en mouvement.

Toutefois, la mécanique newtonienne faisait face à quelques difficultés. La première liée à l'espace physique, c'est-à-dire une surface plane. Les lois agissant sur le comportement de la matière ne sont plus applicables sur l'espace physique très grand. La seconde était en rapport avec la découverte de l'électricité par Michael Faraday. Comment appliquer les lois de la mécanique classique au mouvement des électrons ? Ici, les microparticules qui sont des corps invisibles à l'œil nu, mais leur existence est avérée.

Comme on peut le constater, le déterminisme scientifique se justifie par le fait que les postulats de la mécanique classique émergent d'un espace physique à trois dimensions (x, y, z). C'est dans ce cadre mathématique que les lois d'Isaac Newton ont un sens. Seulement, il n'était pas possible en ce temps-là d'envisager la flexibilité de l'espace dont les résultats étaient largement satisfaisants. L'observation de la surface terrestre à grande échelle montre une courbure de l'écorce terrestre. On peut aussi conclure que les données de la géométrie ptoléméenne, inspirées du modèle de l'Égypte ancienne, n'avaient pas donné l'opportunité de concevoir la terre autrement. C'est ainsi que les postulats mathématiques de Newton tombent progressivement en désuétude. La plus grande faille de ces postulats mathématiques est la

⁴⁰ J. LEROUX, *Une histoire comparée de la philosophie des sciences : L'empirisme logique en débat*, Vol. II, PUL, Laval, 2010, p. 16.

rigidité de l'espace physique. Heureusement, le physicien Albert Einstein semble sauver la communauté scientifique dans ses équations sur la relativité générale.

Le débat ouvert sur la nature de l'espace physique semble trouver solution avec la découverte du principe de la relativité. Dans ses équations sur la relativité, Albert Einstein va essayer de répondre à la question sur la nature de l'espace physique. Les découvertes enregistrées à travers les résultats de ces équations laissent croire que les géométries métriques ne sont plus seulement une droite. Elles sont flexibles. Ces avancées sur la connaissance de la nature donnent lieu à la rupture avec les postulats naturels sans toutefois éradiquer le principe du déterminisme scientifique. Grâce aux principes de relativité, on note que tout corps en mouvement ne peut avoir une accélération au-dessus de la vitesse de la lumière grâce à la flexibilité de l'espace physique terrestre. Ici, la relativité générale affirme que la forme de l'espace-temps est conditionnée par la matière.

À partir de cette nouvelle conception de l'espace physique, l'urgence de sortir de la dictature du déterminisme de Newton vers un univers qui offre plus d'ouverture s'est posée avec acuité. Pour libérer l'espace physique des carcans déterministes, il fallait bien comprendre comment est structuré le milieu dans lequel se trouvent les phénomènes électriques. En fait, même si Isaac Newton était devenu la figure de proue de la mécanique classique grâce à la maîtrise de la géométrie euclidienne et la découverte des lois de la mécanique classique, il faut reconnaître que, pour une interprétation approfondie de la matière, il fallut élargir l'espace physique de travail. Cette amélioration a donné lieu à la découverte d'une géométrie sur l'espace flexible et a entraîné la description de la matière dans l'infiniment grand. Ce travail a été matérialisé par les physiciens modernes et particulièrement les micro-physiciens. Comme on peut le savoir,

la physique moderne, et spécialement la théorie des quanta, a posé une série de questions très générales, ayant pour objet non seulement la physique, mais également les méthodes des sciences naturelles exactes et la structure même de la matière. Alors que, pour le physicien, ces problèmes philosophiques semblaient avoir été résolus définitivement avec la connaissance de la physique classique, dans la théorie quantique, la question s'est posée de nouveau d'une façon très surprenante. Cette question peut par conséquent, être discutée du point de vue des sciences naturelles.⁴¹

La découverte de l'infiniment petit justifie la rupture radicale avec le principe déterministe. Les fondamentaux de la physique de l'infiniment petit nous situe dans la

⁴¹ I. NIKSERESHT, *Démocrite, Platon et La Physique des particules élémentaires*, Paris, L'Harmattan, 2007, p. 12.

géométrie non archimédienne. Cette physique développée par David Hilbert ne s'occupe pas des solides, mais s'applique à des phénomènes aléatoires dans l'univers microscopique. C'est donc finalement le début de la mécanique moderne qui vient ainsi reconforter le principe selon lequel « *toute théorie a sa période de développement graduel et de triomphe, après quoi, elle peut éprouver un déclin rapide* »⁴². Nous pouvons donc accorder à Einstein et Infeld que, bien que les lois de la mécanique classique aient influencées le monde scientifique avec l'ouverture vers un champ nouveau d'investigation scientifique, elles regorgent quelques insuffisances.

En observant la propagation de la lumière par exemple, les scientifiques se rendent à l'évidence que la trajectoire d'un rayon lumineux du soleil vers la terre ne peut pas être droite. Elle suit un espace courbe et sa durée est de 8 mn 20 s. Cette description est bien contraire au langage astronomique fondé sur le déterminisme de fait. Selon Henri Poincaré, « *on appelle ligne droite en astronomie, la trajectoire d'un rayon lumineux.* »⁴³ Par le rejet du langage astronomique, on se rend compte qu'en observant la propagation de la lumière dans l'espace, elle présente une trajectoire rectiligne, c'est-à-dire que son mouvement échappe à la géométrie euclidienne. De même, lorsqu'on observe le photon par exemple, il se trouve qu'il passe par l'une des fentes. Car, en l'absence de l'observateur, on ne peut pas dire par quelle fente exactement le photon est passé. C'est dire que la physique n'est plus seulement ce qui est visible ou qui a une influence sur nous, elle est d'avantage ce dont nous avons connaissance. C'est le cas des atomes ou des électrons qui ne sont pas perceptibles à l'œil nu.

Avec la découverte de l'électricité et du magnétisme, le principe déterministe s'était écroulé définitivement. À partir de là, on ne saurait plus parler d'une connaissance parfaite, absolue et évidente comme l'envisageait Newton. Pour penser avec Bachelard, nous voulons dire que,

*si on prend une vue générale des apports épistémologiques de la science newtonienne, on voit qu'il n'y a pas développement des anciennes doctrines vers les nouvelles, mais bien plutôt enveloppement des anciennes pensées par les nouvelles. Les générations spirituelles procèdent par emboitements successifs. De la pensée non-newtonienne à la pensée newtonienne, il n'y a pas non plus contradiction, il y'a seulement contraction.*⁴⁴

En gros, la découverte des constituants de la lumière, l'avènement de la physique quantique justifient à souhait la chute du déterminisme d'Hippocrate et de Newton, caractérisé

⁴² A. EINSTEIN et I. INFELD, *l'Evolution des idées en physique (1936)*, traduction de M. Salovine, collection « champs », Paris, Flammarion, 1982, p. 74.

⁴³ H. POINCARÉ, *op. cit.*, p. 78.

⁴⁴ G. BACHELARD, *Le Nouvel esprit scientifique*, Paris, P.U.F/ Quadrige, 1934, p. 62.

par l'inertie de la matière. Cette chute est ce qui justifie la découverte de la non inertie de la matière.

2- L'idée de la non inertie dans la perception du réel scientifique

L'idée de la non-inertie de la matière est ce qui justifie la non continuité de l'objet à connaître. L'examen du statut de la matière en physique quantique nous a permis de faire le constat selon lequel la matière est constituée de particule et d'énergie. Dans sa dimension énergétique, elle est en perpétuelle mouvement. Ce qui empêche toute possibilité du statisme observationnel. Cette nouvelle conception de la matière justifie le dépassement discontinu de la physique newtonienne. Dans la conception schrödingerienne de la matière par exemple, on sait que lorsque la vitesse de la matière ou des corps est proche de celle de la lumière, les équations de la mécanique newtonienne ne sont plus valables. À partir de là, on parle désormais de non localité, de non inertie. La matière cesse d'être comme initialement penser par les classiques, un système inerte. La mécanique quantique est la branche de la physique dont l'objet est l'étude de la dynamique des systèmes à faible action (des particules élémentaires, atomes et molécules). Cette branche de la physique est née en 1900, de l'introduction en physique par Max Planck d'une formule érigée en emblème de la mécanique quantique et de la quantification de l'énergie caractéristique de cette physique : $E = h \nu$ (où h est la constante de Planck. ν la fréquence et E une quantité d'énergie). Planck cherchait à fonder théoriquement une loi expérimentalement corroborée, relative à la répartition de l'énergie totale du rayonnement noir sur les différentes fréquences constitutives de ce rayonnement.

Il faut le dire, cette formule prend naissance à partir de la critique de la physique newtonienne. Il reprochait le fait que chez Newton, il y'avait une barrière entre la matière et l'observateur. Pour Planck, l'observateur n'est pas un médiateur neutre, mais il trouble l'objet qu'il observe. À en croire Planck,

*cette précaution à laquelle on ne fait ordinairement pas attention bien qu'on la tienne comme allant de soi consiste à s'assurer que le phénomène n'est pas troublé dans son cours par l'action de son observateur. Si un physicien veut mesurer la température d'un corps, il ne faut pas qu'il se serve d'un thermomètre tel que la nature de ce corps soit modifié quand on le met en contact avec le thermomètre.*⁴⁵

C'est donc à partir de ce constat que la mécanique a vu le jour. Lorsque Planck avait démontré que l'observateur au cours d'une recherche influence la matière observée, avait un rôle capital dans la construction du réel scientifique. Ici, on parle déjà de l'énergie qui n'existait pas chez Newton. Planck est certes à la base de la mécanique quantique, mais c'est Einstein qui est le

⁴⁵ M. PLANCK, *Initiation à la physique*, Paris, Flammarion, 1907, p.69.

plus célèbre de cette branche de la physique.

Einstein critique en effet la physique newtonienne bâtie sur le concept de la matière inerte. Par exemple, concernant la causalité, il montre que c'est Newton qui a établi le système rigoureux. Selon lui, « (...) nous devons nous représenter qu'avant Newton, il n'existait pas de système complet de causalité physique qui puisse reproduire d'une manière quelconque les traits les plus profonds du monde de l'expérience »⁴⁶. Plus loin, il ajoute, « le but de Newton était de donner une réponse à la question : y a-t-il une règle simple, d'après laquelle on peut calculer complètement le mouvement de tous les corps célestes de notre système planétaire, si l'état de mouvement de tous les corps à un moment donné est connu. »⁴⁷

Maxwell démontre alors au détriment de l'espace absolu de Newton que l'espace est champ d'énergie. Cette démonstration a amené Einstein à reconsidérer le concept de la physique. Nous parlons de reconsidération parce que selon lui, nous avons deux réalités dans la matière. Ainsi,

*il est hors de doute que nous ne pouvons pas à présent concevoir que toute la physique puisse être bâtie sur le concept de matière comme le croyaient les physiciens au début du XIXe siècle. Pour le moment, nous acceptons les deux concepts. Pouvons-nous considérer la matière et le champ comme deux réalités différentes et distinctes ?*⁴⁸

L'admission de la notion de champ en physique justifie effectivement le statut de la non-inertie de la matière. En fait, cette propriété qui permet aux corps matériels de communiquer à distance ne relève que du mystère, de l'invisible ou plus précisément selon les concepts de Newton des qualités occultes et des formes substantielles. Pour Einstein, la matière a une masse et le champ n'a pas de masse. C'est pourquoi il ajoute que « le champ représente de l'énergie, la matière représente de la masse »⁴⁹. S'inspirant du concept de champ, il démontre que la matière est un réservoir d'énergie et que l'énergie représente la matière. La matière ainsi pensée a cessé d'être conçue comme étant inerte pour se dévoiler dans son statut non-inerte. Par cette conception, il n'y a plus dès lors lieu de concevoir une différence de nature entre l'énergie et la matière. C'est cela qui met en exergue la célèbre formule de $E=mc^2$, équation par laquelle l'énergie(E) et la masse(m) sont rendues équivalentes à travers la valeur de la constante C, c'est-à-dire la vitesse de la lumière. Le déploiement de cette nouvelle physique ne laisse aucune place considérable ni à l'observation ni à l'expérience.

Le concept de champ a beaucoup révolutionné la conception qu'on avait de la matière,

⁴⁶ A. EINSTEIN, *Comment je vois le monde*, traduction de Maurice Saponine, Paris, Flammarion, 1958, p. 183.

⁴⁷ *Ibid.*, p. 184.

⁴⁸ A. EINSTEIN et L. INFELD, *op.cit.*, p. 228.

⁴⁹ *Id.*

et cette révolution a permis aux scientifiques de détecter facilement les erreurs de la mécanique classique. Klein a donc bien fait de nous rappeler la date d'un phénomène inoubliable chez les physiciens comme les épistémologues. Pour lui « le 14 décembre 1900, le physicien allemand Planck lisait devant l'académie des sciences de Berlin un mémoire plein d'audace qui allait donner naissance à ce qu'on appelle aujourd'hui la physique quantique »⁵⁰. Comme nous l'avons dit plus haut, c'est donc Planck qui établit l'acte de naissance de la mécanique quantique. À travers le concept de champ, la mécanique a eu une vision de la matière qui se définit désormais comme « réservoir d'énergie et que l'énergie représente de la matière »⁵¹.

Il faut le dire, avec la physique quantique, le physicien semble être plus modeste, mais aussi plus inquiet. Sa modestie s'explique par l'aisance qu'il approuve à affronter le réel dans sa totalité, tandis que son inquiétude découle du fait que désormais, la meilleure connaissance d'un tout n'implique plus nécessairement la meilleure connaissance de ses parties. En 1935, le physicien autrichien, Schrödinger précisait que, l'inquiétude sur la possibilité de la connaissance de soubresaut d'un ensemble ne cesse de hanter le physicien. Pour résoudre cette crise, il propose au physicien de décoder les informations de façon probabiliste. Selon lui, « la physique quantique se base en effet sur des probabilités dont la seule vocation est d'obtenir les résultats. Lors d'une mesure, elle calcule des probabilités dans un contexte local du laboratoire qui fait partie de son mode de théorisation »⁵². Dans cette logique, la prédiction quantique n'est pas la représentation d'un processus naturel indépendant de l'expérimentateur. Elle est l'expression de la participation de l'expérimentateur à un devenir qui l'enveloppe. Schrödinger précise à ce niveau que

*les nombreuses réactions suscitées par le désir de lutter contre les conséquences envisageables d'un tel état de fait sont souvent courageuses, mais restent pathétiquement en deçà de l'ampleur de l'enjeu. Parmi toutes les positions envisageables, relevons-en trois. La première consiste à proposer de réintégrer à tout prix l'esprit dans la représentation objective, en postulant sa convertibilité avec une entité physique comme l'énergie. (...) La seconde position se donne comme une nostalgie, celle de l'âme ou celle sublimée par la présence divine.*⁵³

Par cette prescription, Il faut le dire, la révolution de la physique des particules, a imposé l'abandon de la logique d'une réalité indépendante de l'observateur. C'est dire qu'un

⁵⁰ E. KLEIN, « La physique quantique et ses interprétations. À l'occasion d'un centenaire », in *Études*, n°5, tome 2, 2001, p. 394.

⁵¹ A. EINSTEIN, *op.cit.*, p. 229.

⁵² E. SCHRÖDINGER, *L'esprit et la matière* (1958), traduction et introduction de M. BITBOL, Paris, Seuil, 1990, p. 1.

⁵³ *Ibid.*, p. 7.

bouleversement était observé dans la compréhension du réel scientifique depuis la découverte de la physique dite moderne. Ce changement s'est soldé par une offensive contre la réalité extérieure locale qui a fini par isoler le sujet. Désormais, la science des particules s'est montrée contre intuitive et cette description n'était pas du goût de certains experts comme Einstein. Il restait tout comme Schrödinger accrocher aux lois déterministes qui, selon eux semblaient mieux répondre à toutes les préoccupations de la mécanique.

La préoccupation majeure qu'il faut souligner dans la révolution liée à la nature de la matière est l'introduction des particules subatomiques, il y a lieu de constater l'effondrement du déterminisme, de la causalité et de l'objectivité dans l'interprétation de la réalité physique qui se justifie par la double nature des particules élémentaires qui sont à la fois ondes et particules. Nous avons aussi relevé que l'incidence de la mécanique classique sur la vie quotidienne a conduit inéluctablement l'émergence d'une idéologie physicaliste, laquelle s'est érigée comme forme de représentation des consciences individuelles et des peuples. La nouvelle donne de la réalité quantique vient donc briser le mythe de connaissance absolue avec l'attitude du sujet espion. La structure conventionnelle de la connaissance classique du monde entre « *sujet et objet, en monde extérieur et monde intérieur, en corps et âme ne peut plus s'appliquer et soulève des difficultés* »⁵⁴. Cette considération du réel impose un nouveau regard sur le monde, la nature des microparticules dont la relation avec le sujet est un accord intersubjectif. À ce sujet, Heisenberg pense que « *l'homme, de nouveau ne rencontre que lui-même.* »⁵⁵

La maîtrise de la science des particules élémentaires a donné lieu à mieux comprendre la nature de la réalité physique. Les résultats de la mécanique classique semblent n'avoir pas totalement exploré tous les pans du réel. Grâce à la chimie par exemple, l'homme a eu d'autres ouvertures. Cette discipline avait très tôt ouvert la voie à la réalité virtuelle. Gaston Bachelard pensait que la chimie a une conception plus appropriée de la matière. Werner dit pour cela que « *les expériences faites avec la bobine d'induction et la pile de Volta donnèrent pour la première fois un aperçu des phénomènes électriques encore inconnus de la vie quotidienne d'alors.* »⁵⁶ Par cette expérience, l'homme a réussi à mettre en mouvement des électrons créant ainsi la lumière. Il s'agit là d'une représentation nouvelle de la réalité invisible dont l'être humain avait entièrement connaissance. Sa description obéit à l'utilisation des outils mathématiques. Les scientifiques se mettaient à l'évidence que la nature de la réalité physique

⁵⁴ W. HEISENBERG, *La nature de la physique contemporaine* traduit par Ugné Karvelis, Paris, Gallimard, 1962, p. 29.

⁵⁵ *Id.*

⁵⁶ *Ibid.*, p. 14.

avait changée et qu'il fallait désormais étendre les champs de la physique vers un champ non physique afin de mieux saisir ce qui est convenu d'appeler réel en physique et ses propriétés.

Les courants progressistes de la physique moderne défendus par Niels Bohr et Werner Heisenberg, montrent que la particule n'est plus connaissable totalement car la matière n'est pas inerte. C'est donc à partir des calculs de probabilité qu'on peut prétendre localiser une particule élémentaire. Cette position place donc le principe d'indéterminisme au cœur de la physique moderne. À l'opposé, par ces théoriciens en l'occurrence Einstein, Böhm et Schrödinger, l'indéterminisme n'est rien d'autre que l'insuffisance des paramètres physiques au moment de la mesure des éléments corpusculaires. Ces physiciens, s'il faut le préciser, n'admettaient pas une réalité non physique. Ils remettaient en question la nouvelle théorie de la matière dont les orientations semblaient affecter leur foi. L'absence de causalité caractérise ainsi l'essentiel de la physique atomique. Suspender le système causal risquerait de remettre en cause la façon de représenter le monde, dans ce sens les particules élémentaires ne disposent pas de trajectoire. Cette disposition des éléments atomiques avait donc amené Schrödinger à penser que l'absence de la trajectoire serait l'absence de la microparticule.

Les débats au sein de la physique moderne ont donné lieu à définir un cadre de travail, malgré des objections sur l'itinéraire des particules atomiques s'agissant de cette discipline. Heisenberg propose une démarche qui repose sur le principe du philosophe Soren Kierkegaard qui s'énonce ainsi : « *tout champ d'expérience nouveau ne peut être analysé qu'à l'aide de concepts et de principes qui lui soient propres : il n'est donc pas possible d'employer des concepts et des principes utilisés auparavant dans d'autres contextes.* »⁵⁷ Dans la même perspective, il faisait sien le point de vue du philosophe Husserl, fondateur de la phénoménologie, « *il faut revenir des discours et opinions aux faits* »⁵⁸. Dans les deux cas, Werner montre qu'il fallait, nécessairement pour les scientifiques soucieux de comprendre la mécanique moderne, d'oublier les anciennes théories, c'est-à-dire de sortir des sentiers battus pour se frotter à la réalité des faits. Il était temps pour les partisans du principe déterministe d'abandonner la conception d'une réalité indépendante et d'admettre les dispositions de la nouvelle mécanique pour permettre le statut abstrait de la matière. Si la mise au point de Heisenberg avait été saisie par ses pairs, elle n'avait pas réussi à déconstruire définitivement les convictions schrodingeriennes sur la nouvelle conception de la matière, voire au sujet du réel non local. Selon lui, il était encore possible d'inclure dans une théorie physique des

⁵⁷ M. GONDRAN et A. GONDAN, *Mécanique quantique. Et si Einstein et de Broglie avaient aussi raison ?* Paris, Mariologiques, 2014, p. 22.

⁵⁸ *Ibid.*, p. 23.

grandeurs observables. Il dit à cet effet que

l'une des tendances les plus claires que j'ai aperçue dans l'histoire de la pensée, c'est celle qui conduit à l'idéalisation du temps. La mécanique statistique a, pour nous, constitué une étape majeure dans cet itinéraire, dans la mesure où elle a retiré tout caractère de donné irréductible à « l'écoulement unidirectionnel » du temps, en le construisant « à partir de l'ordre des événements.⁵⁹

Mais, dans une certaine mesure sa méthode était à parfaire. La mécanique classique considère que la matière est divisible. En 1978, Bell présentait ses résultats à Alain Aspect qui les reprit en 1980. Il obtenait des résultats expérimentaux qui validaient sans ambages les prédictions de la mécanique quantique. En fin de compte, il pouvait affirmer, sans aucun doute, que la particule élémentaire a un caractère non local. Pour Einstein, même si le test expérimental fut vérifié, il était totalement d'accord avec la nature de la réalité indépendante et ne voulait pas souscrire à une réalité objective non observée.

L'interprétation de la non localité quantique montrait le nouveau statut de la réalité physique entièrement différente de celle présentée par la théorie de Newton, reprise par Einstein. Les travaux de Bell et d'Aspect ayant permis d'abandonner le critère de réalité d'Albert Einstein ou d'accepter une forme d'action à distance. C'est la raison pour laquelle l'expérience de pensée de ce dernier était devenue un paradoxe pour la science. Suite à cela, Schrödinger prend position sur cette question. Il dit à ce sujet :

je vois pour ma part d'autre solution que d'abandonner le principe de séparabilité. Cela signifie, schématiquement, soit que certains systèmes actuellement éloignés les uns les autres sont uns, soit que les systèmes éloignés existent des influences plus rapide que la lumière. Ces deux termes de l'alternative n'étant que deux manières d'expliquer la même situation.⁶⁰

En clair, la non-inertie de la matière justifie la double nature de la microparticule qui donne lieu à une explication des états intriqués, ce qui n'était pas possible en physique classique. De plus, concernant la vitesse, la transmission de la perturbation est instantanée et non contrôlable. Il se trouve donc que la perception de l'univers à l'état macroscopique ne donnait pas une interprétation assez précise sur les états de la matière. On est resté à étudier la matière comme des éléments libres sans influence les uns sur les autres. C'est au nom de cette non localité qu'on est finalement arrivé à parler de la discontinuité de la matière.

⁵⁹ E. SCHRÖDINGER, *L'esprit et la matière* (1958), traduction et introduction de M. Bitbol, Paris, Seuil, 1990, p. 59.

⁶⁰ *Ibid.*, p. 62.

3- De la discontinuité de la matière

La notion de la discontinuité de la matière a été développée par Louis de Broglie dans son ouvrage connu sous le titre de *Continu et discontinu*. Selon sa logique, la notion de discontinuité justifie la pertinence et la permanence de la microphysique dans le dévoilement du réel. Cette notion est ce qui marque le point de départ de la nouvelle forme de la métaphysique, c'est-à-dire la microphysique. Il précise pour ce fait que la microphysique « *a eu pour point de départ la découverte de la structure discontinue de la matière, c'est-à-dire l'existence de molécules des atomes et des électrons.* »⁶¹ Partant de la non-observabilité du comportement absolu de la matière, il précise qu'on ne peut déceler son existence qu'en observant à la fois sa dimension macroscopique et sa dimension microscopique. Cette observation n'est possible que si et seulement si l'action de la particule est prise en compte par l'observateur.

La notion de la discontinuité de la matière n'était pas prise en compte dans la science classique. En fait, dans cette période de notre ère scientifique, la notion de déterminisme qui situait le scientifique dans une science de prévision, laissait croire que la matière était essentiellement continue. C'est dire qu'à partir de l'observation de la matière, on pensait pouvoir prévoir le mouvement de la matière ou sa situation géographique. C'est cette conception de la matière qui aurait poussé Newton à penser la loi des actions réciproques en science. L'essentiel de cette loi nous enseigne que lorsqu'un corps A exerce une force sur un corps B, B également exerce une force sur A. il s'agit de la loi d'interaction. À travers cette loi, tout est pensé comme si la matière A et la matière B pouvaient laisser lire leur comportement de façon exacte. Il s'agit là d'un déterminisme placard qui laisse penser la matière comme étant continue. Avec le principe de discontinuité de la matière, la vision déterministe entre en crise et devient difficilement défendable. Cette vision a été remplacée par le principe d'indéterminisme.

Par définition, l'indéterminisme est une doctrine selon laquelle l'on ne peut pas connaître et prévoir le comportement de la matière. Cette doctrine renforce la révolution occasionnée par la physique quantique. Comme on peut le savoir, le bouleversement provoqué par la théorie quantique a souvent tourné en querelle d'écoles. Et, il n'est pas aisé de spécifier la nature de l'ébranlement conceptuel qui fut la conséquence des découvertes de Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Louis de Broglie, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger et bien d'autres. Les informations quantiques semblent très complexes à déchiffrer. Cette complexité

⁶¹ L. BROGLIE(DE), *Certitude et incertitude de la science. Science d'aujourd'hui*, Collection dirigée par André Georges, Paris, Albin Michel, 1966, p. 15.

s'explique par les principes et exigences de cette nouvelle vision du réel. Par exemple, la valorisation des probabilités dans la formulation de la théorie quantique invalidait la vision scientifique de certains mentors de la physique. Albert Einstein n'avait pas hésité de prévenir la communauté scientifique du fait que « *si la probabilité intervient dans la physique fondamentale, notre compréhension de la matière souffrirait d'une incomplétude fondamentale.* »⁶²

La particularité de la mécanique quantique est la promotion d'une réalité locale et indépendante de l'observateur. En effet, avant que n'émerge un formalisme autonome, la physique quantique fut fondée sur le principe de correspondance qui exige que les résultats de la nouvelle théorie coïncident dans une limite convenable avec ceux de la physique classique. La physique classique avait la prétention de décrire ce qui se passe dans la nature point par point. Ainsi, on pensait plutôt à la continuité de la matière. L'état d'un ensemble de corps était alors spécifié par l'ensemble des états individuels de ce corps. Ici, le déterminisme, la causalité, la continuité et l'objectivité étaient les principes fondamentaux qui gouvernaient l'interprétation de la réalité. Bernard d'Espagnat décrit cette interprétation sous forme « *d'objectivité forte, c'est-à-dire ne référant en rien, même pas implicitement à nos aptitudes d'être pensant capable d'observer et d'agir.* »⁶³

En 1935, le prix Nobel de physique, précisait que l'inquiétude sur la possibilité de la connaissance de soubresaut d'un ensemble justifie le caractère incertain de la matière. Avec la découverte des constituants de la lumière par Einstein, l'on a confirmé la pertinence de la matière. Avec Einstein on a découvert que la matière était constituée d'ondes et de particules. Seulement, il est aussi mentionné que ces deux constituants de la matière ne pouvaient pas se manifester au même moment. C'est dire que la matière ne pouvait pas être perçue à la fois comme une onde et un corpuscule à la fois. Louis de Broglie l'avait aussi prouvé. Avec l'expérience menée dans les laboratoires Bell, l'idée de Louis de Broglie a été aussi confirmée : les électrons qui sont de minuscules particules de matière, se comportent aussi comme des ondes. Jean Staune affirme à cet effet que,

les électrons, mais aussi les protons, les neutrons, et tous les autres constituants d'atomes...une fois livrés à eux-mêmes, ils se comportent comme une onde. Mais quand ils sont observés ou quand ils entrent en interaction avec l'écran après être passés par les fentes... ; ils se dématérialisent en reprenant leur aspect

⁶² B. GREENE, *op.cit.*, p. 185.

⁶³ B. ESPAGNAT(D'), *Qu'est-ce que la matière, regard scientifiques et philosophiques*, Paris, La Flèche, 2000, pp. 8-9.

*corpusculaire.*⁶⁴

Ce qu'exprime Staune est que, le phénomène quantique s'exprime sous la forme de « *paquet d'onde* »⁶⁵. Ceci signifie que l'idée de Louis de Broglie qui jusque-là paraissait paradoxale, s'est légitimée par l'expérience « *des fentes de Young* »⁶⁶. Ainsi, la réduction du paquet d'onde caractérisée par la dématérialisation et la rématérialisation des corpuscules, est très étrange. Elle pose que les corpuscules sont de nature non locale. C'est dire que la signature de l'onde n'est possible ici que parce que chaque électron se comporte comme une onde. Il s'agit là d'un phénomène étrange qu'on ne peut expliquer par la logique positiviste.

Pour faire comprendre ce phénomène étrange de l'électron, Khalili a proposé une analogie : celle d'une pièce de monnaie que l'on fait tourner. Il fait remarquer que, tant que cette pièce de monnaie tourne, elle n'est ni pile ni face, mais les deux à la fois. Pour savoir où va tomber cette pièce de monnaie, il faut par exemple l'obliger à s'arrêter en tapant dessus. Niels Bohr estimait que c'est de la même manière que se comporte un électron lorsqu'il est projeté sur l'écran. On ne peut pas savoir où il va se matérialiser avant de l'avoir observé. La chose possible c'est d'effectuer des calculs susceptibles de nous donner les zones où il est plus probable de le trouver⁶⁷. Cela veut dire qu'une fois projeté, il se trouve partout à la fois, il passe à la fois à travers les deux fentes et se propage partout comme une onde, jusqu'à la prochaine mesure. À ce moment, il sera obligé de redevenir corpuscule pour prendre une position fixe sur l'écran⁶⁸.

L'analyse de l'expérience des fentes de Young nous permet d'admettre que la matière en générale est composée d'électrons. Or Bohr nous précise que ce corpuscule ne commence à exister que lorsqu'on l'observe. Et si nous admettons que la matière est faite d'électrons, cela signifierait que tant que nous n'avons pas observé, la matière n'existe pas. C'est là un vrai paradoxe vrai. C'est fort de ce grand paradoxe que Bohr a pu dire que « *si vous n'êtes pas pris de vertige quand vous étudiez la physique quantique c'est que vous ne l'avez pas réellement comprise* »⁶⁹. Pour expliquer ce mystérieux phénomène, il faut admettre qu'entre nous et l'univers quantique, il y a quelque chose semblable à un rideau qui nous sépare. Et, derrière ce

⁶⁴ J. STAUNE, *Explorateurs de l'invisible : une plongée au cœur des plus grands mystères de l'univers et de nous-mêmes*, Paris, Tredaniel, 2018, pp. 79-80.

⁶⁵ *Id.*

⁶⁶ *Ibid.*, p. 77.

⁶⁷ *Ibid.*, p. 82.

⁶⁸ *Ibid.*, p. 83.

⁶⁹ Niels Bohr, cité par Jean Staune, *op.cit.*, p. 84.

rideau, nous dit Khalili, « *il n'y a pas de réalité tangible, seulement une réalité potentielle* »⁷⁰ ; laquelle réalité justifie le caractère discontinu de la matière.

En clair, Schrödinger est l'un des philosophes qui s'est intéressé à l'analyse de la nature discontinue de la matière. Pour y parvenir, il s'est donné pour tâche d'examiner le paradoxe de la réduction du paquet d'onde. Même si pour lui, la réalité ondulatoire est le lieu de cette opération, il n'en demeure pas moins que l'on analyse ses propos. Cette façon d'expliquer la réalité est devenue si célèbre qu'on lui a donné le nom « *d'interprétation de Copenhague* »⁷¹. Cette interprétation sera fortement critiquée par Schrödinger. Laquelle critique lui fera insister autrement sur la nature de la réalité ondulatoire de la matière, grâce à sa fonction d'onde et son expérience de pensée. Le débat autour de cette nouvelle forme d'expérience a soulevé dans l'histoire de la pensée le problème de la nature du réalisme microscopique.

⁷⁰ *Ibid.*, p. 85.

⁷¹ *Id.*

CHAPITRE III : ERWIN SCHRÖDINGER SUR LA QUESTION DU REALISME MICROPHYSIQUE

Dans ce chapitre, il est question d'analyser le statut du réalisme tel que pensé à l'échelle microscopique. La spécificité de ce travail est d'insister sur l'apport d'Erwin Schrödinger sur la réorientation de la question du réalisme microphysique. Pour y parvenir, il nous revient de commencer par un examen de la conception du réalisme quantique au-delà du débat Bohr-Einstein, pour débattre par la suite sur les raisons justificatives du rejet de la prépondérance de la corpuscularité, afin de terminer par une clarification de l'analyse qu'Erwin Schrödinger a construite sur la question de la mesure.

1 : Schrödinger sur la conception de la réalité quantique : au-delà du débat Bohr-Einstein

En parlant de la réalité quantique, nous faisons allusion à la conception de la matière à l'échelle quantique. Il s'agit de la matière perçue au-delà de la dimension macroscopique. Ce statut de la matière est rendu possible grâce aux découvertes enregistrées en physique de particule. Comme nous avons montré plus haut, le regard que les scientifiques ont eu sur la matière a changé considérablement avec l'extension de la physique à l'infiniment petit. Cette extension avait suscité des controverses au sein de la physique moderne. L'une des conséquences de ces controverses est le bouleversement conceptuel du réel.

Comme on peut le savoir, l'extension de la physique à l'infiniment petit avait entraîné des débats autour de la question de la réalité qui avait largement dépassé le seul cadre physique pour s'ouvrir à la philosophie. Comme l'évoque Etienne Klein, les problèmes soulevés par le prolongement du champ de la physique vers le monde de l'infiniment petit a occasionné le trouble dans l'esprit des physiciens. C'est dire que dès les balbutiements de la mécanique quantique, les physiciens ont été confrontés à de redoutables questions et la plupart de ces questions « *les ont amenées sans échappatoire possible sur le terrain philosophique* »⁷². C'est d'ailleurs pour affronter cette catégorie de problèmes sur le statut de la matière que s'est ouvert un débat qui opposera les grandes figures de la physique contemporaine à savoir Niels Bohr et Albert Einstein. Ce débat a occasionné une discussion ayant entraînée l'édification de la physique quantique. Nous voulons dire qu'au cours de ce débat, l'introduction des variables aléatoires avait donné lieu de revisiter la conception de la réalité scientifique. Même si la volonté des néo-positivistes était de formuler une science complètement unifiée, ce débat Bohr-Einstein justifiait la permanence du caractère voilé du réel.

⁷² E. KLEIN « Introduction au débat quantique », in *Études*, N° 6, Décembre 1991, p. 364.

Précisons que les changements au sein de la physique moderne débutent avec la théorie de la relativité d'Einstein qui se solde avec le temps et l'espace perçus comme un continuum. Ces variables ne sont plus des réalités absolues. Un autre fait majeur ayant matérialisé ce changement fut la découverte des mouvements électromagnétiques qui posait déjà le problème de la nature des microparticules par James Clerk Maxwell. Le point culminant dans cette dynamique visant la compréhension des phénomènes de la nature fut la découverte de la théorie des quanta par Max Planck. Jean Pierre Yméle affirme à cet effet que « le 14 décembre 1900, journée mémorable, où Max Planck, devant la société de physique de Berlin, émit l'hypothèse des quanta résolut l'énigme du corps noir. Un corps qui absorbe en totalité les radiations qu'il reçoit »⁷³. Il faut le dire, cette conception corpusculaire de la lumière fut reprise par plusieurs autres théoriciens, en l'occurrence Albert Einstein qui a parlé de l'effet photoélectrique par un corps. Cette nouvelle façon de percevoir la matière ouvrait une nouvelle perspective sur son interprétation.

Dans son entreprise scientifique, Niels Bohr avait eu une position réaliste et phénoméniste du réel quantique. C'est la mesure qui donne la possibilité de savoir quelle peut être la position probable de la particule élémentaire. Albert Einstein, au contraire, était resté dans une posture idéaliste partageant ainsi l'idée selon laquelle le réel peut être interprété de façon déterministe. De son avis, à partir de son intuition intellectuelle, il espérait avoir la capacité de saisir la véritable nature de la matière. Il pensait donc qu'aucun corps ne peut avoir une célérité supérieure à celle de la lumière. Par-là, il se construisait une fiction méthodologique comme si, tous les contours de la matière étaient au bout de ses doigts. Sur cette question, les travaux de Niels Bohr avaient montré que l'intuition intellectuelle est trompeuse parce qu'elle se fondait sur des suppositions de la raison autosuffisante, comme une instance permettant une connaissance absolue.

L'une de position partagée par Einstein est que, la science poursuivait une essence métaphysique en dehors de l'observateur. Par cette conviction, Einstein pensait à une explication possible de la nature à partir de l'activité consciente. Le point d'ancrage de cette philosophie est le développement du physicalisme tout azimut qui a gagné toute la société occidentale. Avec la physique contemporaine, Niels Bohr rejette cette conception classique au profit d'une réalité non-physique. Selon lui, la connaissance du réel n'est possible qu'à travers des variables statistiques en tenant compte de l'impossibilité de saisir la matière dans sa totalité.

⁷³J. P. YMELE, « Le débat Bohr-Einstein et le problème de la réalité en physique contemporaine », Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Maîtrise en philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I, Sous la direction de Joseph Ngoué, 1993, p. 5.

Ainsi, la connaissance du réel ne peut être objective au sens fort du terme.

Le crédit accordé à la position d'Albert Einstein avait tout son sens si nous restions dans le cadre macroscopique où la conception d'une science qui décrit la nature d'une réalité extérieure s'était érigée en idéologie. Ce principe fondamental avait influencé plus d'un savant à l'époque classique et même pendant la physique contemporaine où les scientifiques comme Erwin Schrödinger, Louis De Broglie et même Albert Einstein pensaient qu'il n'était possible de se déroger de ce principe qui semblait être une propédeutique à toute entreprise physique. Einstein restait constant dans cette perception de la science qui décrit les phénomènes de la nature lorsqu'il affirmait que le fait de « *croire en un monde extérieur, indépendant du sujet qui perçoit, constitue la base de toute science de la nature.* »⁷⁴ Cette considération montre que Einstein était en quelque sorte resté prisonnier déterminisme scientifique où les lois de Laplace et de Newton étaient des facteurs dominants.

Pourtant, l'évolution de la mécanique quantique est contre intuitive, elle prend en compte la présence de l'observateur comme faisant partie du système observé. En considérant le sujet comme bruit, ou comme espion selon Mouchili Soulé ou alors neutre selon Ymélé, la mécanique contemporaine donne la grille de lecture plus crédible sur l'état de la matière par le sujet qui observe. La théorie de la relativité avait donc fini par établir un lien d'indépendance entre la matière et l'énergie. Seulement, Einstein n'avait que la maîtrise de la matière comme une réalité extérieure. Or, la matière dans l'infiniment petit a une nature ondulatoire et corpusculaire, ce qui traduit un certain enchevêtrement de fait dans l'environnement quantique. Ce comportement semble identique sur le plan macroscopique. Louis de Broglie, à son tour, a fini par admettre que toute la matière à grande échelle se comporte comme une onde et une particule. Ce que semblait confondre Einstein. Or, le principe d'incertitude de Werner Heisenberg montrait que la matière ne pouvait plus être connue au cours d'une même expérience. La position d'Einstein sur la nature de la matière reste plus philosophique que physique. Son idéalisme est en rapport avec la nature de la réalité locale. Mais, s'agissant des particules élémentaires, il présuait que les électrons par exemple préexistent à tout acte de mesure. Sa position était inflexible car, la nature répondait selon lui à une logique purement rationnelle et que l'univers serait créé par un grand architecte, à partir des lois stables et non sur des variables aléatoires comme le veut Bohr. Voilà pourquoi il soutenait que « *Dieu ne joue pas aux dés* »⁷⁵. Dans une correspondance à Max Born, en décembre 1926, Einstein exposait

⁷⁴ A. EINSTEIN, *Comment je vois le monde* (1934), traduit par Maurice Saponine, Paris, Flammarion, 1958, p. 212.

⁷⁵ *Ibid.*, p. 214.

son malaise face au rôle des probabilités et du hasard dans la mécanique quantique d'une part, et son rejet total de la causalité et du déterminisme d'autre part. Malgré cette position inflexible, Niels Bohr avait plutôt des arguments en faveur d'un réalisme non physique. C'était là une nouvelle approche de la matière prenant en compte la présence de l'observateur.

Les échanges entre ces deux éminents scientifiques ont bien alimenté les débats physique et philosophique sur la nature du réel en favorisant la compréhension de la physique des particules. Sauf qu'Einstein n'avait pas réussi, à dépasser son cadre matérialiste traditionnel. Aussi, considérant la mécanique quantique incomplète, il n'a non plus proposé une démarche visant à résoudre cette incomplétude. Sa grande difficulté restait autour d'un réel non physique dont l'existence s'exprimait seulement à partir des lois statistiques. Or, l'application des lois statistiques en mécanique quantique a tout son sens, ceci à cause de la double nature des particules élémentaires. Cela fait dire à Heisenberg que, « *les lois statistiques signifient d'habitude que l'on ne connaît qu'incomplètement les systèmes physiques dont il s'agit.* »⁷⁶ Cette façon de voir les choses était pour Heisenberg comme une chute libre dans un trou noir. Albert Einstein, sans le vouloir, avait fini par militer en faveur d'un réel non physique. Sa conjecture sur la nature de la réalité, par ce fait même, avait donné lieu au phénomène de téléportation. Si la nature de la matière comme onde et corpuscule ne fait plus l'ombre d'aucun doute, la nature de sa propagation ne fait non plus l'unanimité au sein de la communauté scientifique. Cela laisse comprendre que la mécanique quantique permet aujourd'hui de mieux comprendre les actions à distance ou des phénomènes dits paranormaux qui étaient autrefois du domaine inexplicable. En paraphrasant Mangit Kumar sur cette question, on se rend compte que la téléportation quantique exploite le phénomène de l'intrication. De même, André Comte-Sponville pensait que la réalité physique seule ne suffit pas pour rendre compte du réel. En effet,

*un courant d'air n'est pas moins matériel qu'un caillou, ni une onde ou un flux d'énergie moins matériels qu'une chose ou une particule. La vraie question n'est pas de savoir qu'elle est la consistance de la matière mais, si elle est de nature spirituelle, idéelle ou de nature physique.*⁷⁷

Aux yeux de Sponville, la matière doit être au service de l'esprit car c'est la conscience qui permet à l'être humain de s'interroger sur son existence. Le réalisme non physique serait donc proche de l'ontologie platonicienne qui ne se fonde pas sur un principe matériel, mais sur

⁷⁶ W. HEISENBERG, *La nature de la physique contemporaine* (1953), traduit par Ugné Karvelis, Paris, Gallimard, 1962, p. 43.

⁷⁷ A. COMTE-SPONVILLE, L. FERRY, *La sagesse des modernes*, Paris, Robert Laffont, 1998, p. 46.

le monde intelligible. La réalité de Niels Bohr reste au niveau de la conscience et est valable pour tous les observateurs. Elle ne s'appuie pas sur une réalité physique. Bernard d'Espagnat souligne à ce sujet que

*les Idées de Platon ne sont pas dans l'espace-temps, mais elles existent indépendamment de l'esprit humain et sont les causes des phénomènes, c'est pourquoi on parle à propos du platonisme, du réalisme des essences. Le réalisme philosophique d'un physicien peut difficilement ne pas être un peu platonicien. Les objets perçus sont seulement des projections de ce qui est.*⁷⁸

Le regard des savants sur la question de la réalité quantique c'était plutôt transformé en un débat de clan. L'école des expérimentalistes avec Bohr, Heisenberg et Pauli, avait pour projet de débarrasser la science des préjugés, des apparences et considérer la mécanique quantique comme une science achevée. L'école idéaliste par contre postule qu'il y a encore du chemin à faire pour libérer cette physique moderne. Il s'agit d'Einstein, Schrödinger et les autres. Ainsi, Einstein pensait que la position de l'école de Copenhague était comme un dogme. Sa position était illustrée dans sa correspondance à Erwin Schrödinger en Mai 1928. Aussi, écrivait-il, « *cette interprétation de Copenhague ressemblait à un oreiller douillet sur lequel on peut s'endormir sans se poser la question sur la réalité* »⁷⁹. L'analyse d'Albert Einstein laissait croire que la considération de Copenhague n'est pas justifiable parce qu'elle ne donnait pas une interprétation physique. Il n'arrivait pas à accorder une matérialité à un état de matière virtuelle.

Finalement, il convient de retenir que les savants regroupés sous le nom de l'école de Copenhague nient l'existence des choses en soi. Ils ont donc emprunté le courant positiviste selon lequel le dispositif expérimental seul décide de ce que nous devons voir. La non existence des particules avant la mesure pose ici un problème philosophique car, l'existence que nous avons de l'électron est abstraite. A ce sujet, Abner Shimony parle de « *métaphysique expérimentale* »⁸⁰. Si le débat Bohr-Einstein sur la question de la réalité permettait d'admettre que la physique est susceptible d'avoir connaissance des choses abstraites, il n'est pas non pertinent de préciser que le principe de localité, la pensée et le langage sont l'expression des microparticules, elles peuvent être perçues comme une fonction d'onde selon Erwin Schrödinger.

Au-delà du débat Bohr-Einstein, Schrödinger souligne que l'identification d'un modèle continu reflète d'abord et avant tout une exigence de clarté intellectuelle. Pour lui, les objets dont traite la physique quantique doivent être conçus comme de pures formes, et non comme

⁷⁸ B. ESPAGNAT(D'), *L'atome de sagesse*, Paris, Seuil, 1982, p. 125.

⁷⁹ A. EINSTEIN, « L'lettre d'Einstein à Schrödinger 1928 », in *Letters on wave mechanics : Schrödinger, Planck, Einstein, Lorentz*, philosophical library, 1967, p. 31.

⁸⁰ J. BRICMONT, H. ZWIRN, *Philosophie de la mécanique quantique*, Paris, Vuibert, 2015, p. 15.

les fragments informés d'un substrat matériel. Mais alors, la fonction même de la notion de corpuscule individuel dans l'économie de la physique quantique commence sérieusement à être mise en cause. Car selon Schrödinger qui se fonde sur ses travaux de physique statistique, si l'aptitude à porter la greffe d'une forme individuante ne peut se voir attribuer à quelque fragment localisé de substrat matériel, elle peut en revanche être conférée à l'onde, l'une des entités théoriques de la mécanique quantique. Cela étant admis, les corpuscules ne sont que des sous-structures de l'onde modulée et individuée par cette modulation. D'ailleurs, souligne le physicien autrichien, « rien d'autre que des configurations, rien d'autre qu'une sorte de crête d'écume sur un rayonnement d'onde formant le fond de l'univers, et non des portions individualisées d'un certain matériau »⁸¹.

Certes, les corpuscules matériels ne peuvent être individualisés par aucun trait caractéristique propre, il reste peut-être envisageable de les distinguer par le biais de leur localisation spatiale et de leur trajectoire. Mais pour cela, Schrödinger estime qu'il faudrait encore mesurer leur position avec précision et suivre leur progression le long d'une trajectoire supposée continue afin de s'assurer qu'à aucun moment il ne s'est pas produit d'échange avec d'autres corpuscules. Dans ces circonstances, les particules sont traitées formellement comme des objets indiscernables. Il va plus loin en indiquant qu'il est impossible d'établir une frontière nette entre les circonstances qui rendent les particules indiscernables et celles qui permettent d'envisager, de les suivre et de les distinguer. En effet, la mécanique quantique aux yeux du prix Nobel de physique « a fait perdre au concept de particule individuelle et permanente jusqu'à son sens »⁸². La mécanique quantique, au regard de ce propos, nous conduit finalement dans un monde physique insoupçonnable, aux hiérarchies inversées. A cet effet, nous n'avons plus à faire à des corpuscules dont l'identité est parfois douteuse, mais à des séries discontinues d'évènements qu'il est parfois commode d'agglomérer en une trajectoire corpusculaire. Ce désir de transfigurer la description en représentation devient difficilement soutenable dans le domaine de la physique quantique. L'obstacle majeur, dit Schrödinger est le suivant :

*Aucun modèle conforme à notre intuition des objets à grande échelle, c'est-à-dire aucune représentation spatio-temporellement continue ne rend correctement compte des faits observés à l'échelle atomique. La solution qui se présente le plus immédiatement à l'esprit revient à écarter définitivement l'espoir d'une telle représentation. C'est celle qu'ont proposée et mise en œuvre, dès les années 1920, M. Born, W. Pauli, W. Heisenberg et N. Bohr.*⁸³

⁸¹ E. SCHRÖDINGER, *Physique quantique et représentation du monde*, introduction et notes par Michel Bitbol, Paris, Seuil, 1992, p. 153.

⁸² *Ibid.*, p. 154.

⁸³ *Id.*

Une telle solution a cependant été écartée par Schrödinger. C'est que, pour lui, l'édification d'un modèle continu reflète d'abord et avant tout une exigence de clarté intellectuelle. Il faut dire qu'une description discontinue est à ses yeux lacunaires ou incomplets. Ce type de description risque d'aboutir « à une pensée vague, arbitraire et obscure »⁸⁴. Dans un contexte d'observation, il faut se rappeler que « les lacunes éliminées de la description ondulatoire se sont réfugiées dans la connexion qui relie la description ondulatoire aux faits observables. »⁸⁵ Cette bifurcation rend la représentation certes claire, mais n'élimine pas les zones obscures qu'on voulait esquiver du schème interprétatif. Sachant que ce schème interprétatif est justifié par la visée probabiliste de la mécanique ondulatoire Schrödinger a-t-il raison de privilégier l'opérationnalité de la matière tout en rejetant sa corpuscularité ?

2- Le rejet d'une prépondérance de la corpuscularité

Ayant constaté qu'un corps en mouvement perd ou gagne de l'énergie, Albert Einstein réussit à établir un rapport d'égalité entre l'énergie et la masse potentielle d'un corps en mouvement. Cela se traduit par l'équation de l'énergie cinétique : $E=MC^2$. Cette découverte affectera la conception de la matière et de la physique en général. Le référent macroscopique nous permet de tenir pour vrai les objets observés. Cette conception de la réalité physique a été théorisée par Newton. Dans son projet de faire obéir l'ensemble de la physique à quelques lois rationnelles et cohérentes sur les évènements de la nature, il montre que les phénomènes de la nature en termes de corps solide, de trajectoire rectiligne, constante et fixe régissant tout phénomène physique. Ces lois deviennent ainsi la clé de compréhension de la réalité physique. Or, cette interprétation se limitait à l'aspect matériel des phénomènes. Avec la découverte de la théorie des quanta, il se trouve que la lumière est composée de petits paquets appelés *quantum*.

À partir de cette précision, on sait que l'observation d'une matière extrêmement petite nécessite qu'on l'illumine avec des particules de lumière ou de photons. En fait, la lumière permet de déterminer la capacité énergétique de la matière avec une précision extrême d'un milliardième de millimètre. Dans tous les cas, le degré de précision avec laquelle la lumière peut faciliter la détermination de la capacité énergétique d'une matière dépendant de la longueur d'onde émise par ses photons. « Plus la longueur d'onde est grande, plus l'énergie est faible plus les détails sont flous et plus la réalité est indistincte. En revanche, plus la longueur d'onde

⁸⁴ *Ibid.*, p. 155.

⁸⁵ *Id.*, « L'image actuelle de la matière », in *Gesammelte Abhandlungen*, F. Wiewweg & SOHN, (Sld), 1983, Vol. IV, p. 504.

*diminue, plus l'énergie augmente, plus les détails se précisent et plus la réalité est définie.»*⁸⁶ A la suite de cette clarification, on peut retenir que le principe d'incertitude s'opère uniquement à l'échelle atomique et subatomique. Or, comme nos instruments de mesure ne nous donnent pas des résultats exacts dans notre univers macroscopique, on peut conclure que notre univers est influencé par les effets des univers microscopiques ou parallèles. Pour expérimenter cette influence, il nous revient d'analyser l'impact des forces gravitationnelles dans « *la connexion fantomatique* »⁸⁷ au sens newtonien des objets antagonistes.

Dans la physique classique, on sait déjà qu'une matière peut être constituée de plusieurs atomes. Or, dans leur constitution ces atomes subissent une réaction chimique analogue à une réaction nucléaire. C'est au cours de la réaction nucléaire au sein d'une matière qu'on peut observer les forces énergétiques qui l'habitent. « *Un exemple de réaction nucléaire est la réaction de fusion des noyaux de deutérium (${}^2\text{H} : 1 \text{ proton} + 1 \text{ neutron}$) et de tritium (${}^3\text{H} : 1 \text{ proton} - 2 \text{ neutrons}$) pour donner un noyau d'hélium (${}^4\text{He} : 2 \text{ protons} + 2 \text{ neutrons}$) et 1 neutron libre* »⁸⁸. Dans son processus de désintégration, une réaction nucléaire, cas du noyau de deutérium et de tritium produit une énergie de 17.6 MeV susceptible de produire l'énergie à grande échelle si elle venait à être fusionnée. L'équation de cette réaction peut se matérialiser de la manière suivante : ${}^2\text{H}+{}^3\text{H}\rightarrow\text{He}+\text{n}+17.6\text{MeV}$.

Suite aux expériences de Newton, de Yung et de Fresnel, *demeurait*⁸⁹ une question fondamentale : la lumière est-elle une onde (phénomène continu) ou un phénomène corpusculaire (phénomène discontinu) » ? Cette interrogation a suscité de grands débats au sein de la communauté scientifique. Il fallut attendre jusqu'en 1905 avec Einstein, pour comprendre que grâce à l'explication de l'effet photoélectrique, la lumière peut avoir, suivant les circonstances un comportement soit ondulatoire, soit corpusculaire, reflétant son caractère dual incompréhensible.

C'est précisément à partir de 1923 que Louis de Broglie réalise qu'il est alors possible d'associer à toute particule matérielle l'électron considéré par Thomson depuis sa création, comme un petit grain de matière, une « *onde de matière* »⁹⁰ qui, en guidant l'électron, lui permet aussi de se comporter comme une onde. De Broglie explique alors qu'un électron, quoiqu'étant une particule de matière peut également se comporter comme une onde dont la

⁸⁶ P. S. LAPLACE(De), *Essai philosophique sur les probabilités*, Courcier, 1894, cité par T. X. THUAN, *La plénitude du vide*, p. 163.

⁸⁷ M. M. NGOUWOUO, « La fonction épistémologique de la théorie des mondes parallèles en physique », Thèse soutenue en Décembre 2021, Sous la direction de Mouchili Njimom, p. 263.

⁸⁸ J. MAXWELL, cité par T. X. THUAN, *La plénitude du vide*, Paris, Albin Michel, 2016, pp. 161-162.

⁸⁹ G. LOUIS-GAVET, *La physique quantique*, Paris, Eyrolles, 2014, p. 23.

⁹⁰ *Id.*

longueur est la constante H de Planck, divisée par sa quantité de mouvement. Cette relation sera dès lors baptisée de : « *longueur d'onde de Louis de Broglie* »⁹¹. Il s'agit d'une onde de matière. Cette équation va être matériellement confirmée en 1927 par deux physiciens américains : Clinton Joseph Davidson (1881-1958) et son collaborateur Lester Germer (1896-1971). Ce phénomène de diffraction, résultat de leur expérience leur vaudra le prix Nobel 1937. Deux ans plus tard, le physicien britannique, George Paget Thomson (1892-1975) lui aussi prix Nobel corrobore à son tour ce phénomène de diffraction de De Broglie. Il faut dire que depuis 1925, toutes les expériences au sujet des particules, d'atomes et même de quelques molécules, ont si bien confirmé la découverte de Louis De Broglie. La plus ingénieuse date de 1997.

Afin de pouvoir affirmer que toute particule est associée à une onde, il faut au préalable montrer comment la particule et l'onde suivent la même direction, voire le même chemin. Pour démontrer cela, De Broglie utilise deux vieux principes : ceux des mathématiciens français : Pierre de Fermat (1601-1665) et Pierre Louis de Maupertuis (1698-1759). On peut dire que le premier explique qu'une onde lumineuse emprunte le trajet qui la favorise. Le second quant à lui, appelé principe de moindre action, fait presque la même démonstration, mais avec une particule matérielle. Schématiquement,

*les trajectoires d'une onde et d'une particule d'un point à un autre sont pratiquement les mêmes. Ainsi, une particule obéit à la fois aux lois de l'optique (ce qui explique le comportement des ondes lumineuses) et aux lois de la mécanique classique (ce qui permet de calculer les objets matériels, donc les particules)*⁹².

Finalement, De Broglie a pu donner une image de l'atome et des électrons radicalement différente de celle de Bohr. Puisqu' « *en démontrant que les ondes règnent en maîtresses dans le monde de l'infiniment petit, Louis De Broglie est ainsi devenu le père fondateur de la mécanique ondulatoire* »⁹³ que Schrödinger développe plus tard, en formalisant. Son génie, il faut le préciser a permis d'établir la physique quantique comme une physique indépendante, se nourrissant de ses propres lois et totalement émancipée de la physique classique. Ainsi, en s'appuyant sur les travaux d'Einstein, De Broglie arrive à montrer que « *toute particule, de matière ou pas (électron, proton...) est associée à une onde dite onde de matière ou onde pilote et dont on ne peut calculer la longueur. À cet effet, dit-il, les orbites rigides de Bohr ne sont en réalité que des ondes périodiques stationnaires, circulaires* »⁹⁴.

⁹¹ *Ibid.*, p. 24.

⁹² De Broglie cité par A. MACE, *La matière*, Paris, Flammarion, 1998, p. 29.

⁹³ *Id.*

⁹⁴ *Ibid.*, p. 29.

Comme on peut le constater, De Broglie a permis l'éclosion des formalismes mathématiques développés plus tard par Schrödinger et Dirac. Ces formalismes deviendront, avec celui de Heisenberg, les fondements théoriques définitifs de la mécanique quantique. À partir de 1925, une nouvelle génération de chercheurs va révolutionner la physique moderne. Il s'agit de l'allemand Werner Heisenberg (1901-1976) prix Nobel, de l'autrichien Schrödinger (1887-1961) et du britannique Dirac (1902-1984), eux aussi prix Nobel. Ces trois savants, véritables mousquetaires, sont alors comme Einstein vingt ans auparavant, des révolutionnaires scientifiques qui, par leurs remarquables découvertes mathématiques, ancreront définitivement la physique quantique du XXe siècle. On l'appelle nouvelle physique quantique pour la différencier de celle initiée par Planck, Einstein et Bohr. L'une des rares, sinon l'unique fait dans l'histoire des sciences. En un an, de juin 1925 à juin 1926, chacun publie des travaux de recherches théoriques étayés par des formalismes mathématiques distincts.

D'abord Heisenberg avec sa mécanique matricielle, appuyée sur les travaux de Bohr. Puis Schrödinger et sa mécanique ondulatoire qui formalise complètement celle alors encore embryonnaire de Louis De Broglie. Et enfin Dirac avec son algèbre quantique qui unifiera les travaux de Heisenberg et de Schrödinger grâce à un formalisme mathématique plus complet. Avec eux, on parlera désormais du paradoxe suprême. Dans ce monde microscopique, leurs formalismes mathématiques ne décrivent pas les événements au moment où ils se produisent, (ce qui était le cas en physique classique) mais, prédisent avec une certaine probabilité quand ils peuvent se produire. Cela veut simplement dire qu'à partir de telle ou telle hypothèse, nous pouvons nous attendre à voir tel ou tel résultat avec une certaine probabilité, l'exemple d'un atome déterminé.

Or, soulignons que dans le monde macroscopique, on peut toujours, à un instant donné, connaître simultanément la position géographique et la vitesse d'un objet, puisque les indéterminations sont forcément égales à zéro : $(\Delta x) = (\Delta v) = 0$. C'est l'effondrement du déterminisme. On peut donc dire qu'en mécanique quantique, la position géographique d'une particule ne peut être déterminée que par des calculs probabilistes. Ceux-ci permettront par exemple de prévoir avec une certaine probabilité, suivant le contexte de l'expérience, la présence d'un électron dans tel ou tel endroit. Commentant cela, Trinh Xuan Thuan écrit,

C'est le principe d'indétermination qui rend aussi célèbre Heisenberg. Ce principe stipule que dans le monde microscopique, il n'est pas possible de mesurer simultanément certains couples de caractéristiques physiques d'une particule. Car, plus on est précis sur une de ces caractéristiques physiques, moins on l'est sur l'autre. C'est dire que la notion de trajectoire n'a donc pas de sens dans le monde des particules. Ce principe portera un coup mortel au déterminisme, pilier fondamental

*de la physique classique, rendant ainsi indispensable l'utilisation des probabilités*⁹⁵.

Ainsi, la mécanique matricielle montrera donc ses limites. Elle sera traitée par plusieurs physiciens, Schrödinger en particulier, comme une théorie abstraite. À cet effet, la mécanique ondulatoire par le formalisme mathématique développée par Schrödinger apportera plus d'explications.

C'est précisément en 1926, que le physicien autrichien élabore la mécanique ondulatoire. À cette époque, il considère que l'entité mathématique principale de sa théorie (la fonction d'onde Ψ) est complète. Pour lui, cette fonction d'onde « offre une description complète, adéquate et continue dans l'espace et dans le temps, des données empiriques obtenues sur les objets d'échelle atomique ; considérant l'onde comme quelque chose de réelle »⁹⁶. Vers les années 1927 et 1928, les insuffisances de sa conception initiale lui apparaissent insurmontables, et il se rallie donc, non sans un grand scepticisme, aux éléments principaux de l'interprétation dominante proposée par Bohr et Heisenberg. Il adopte alors au moins, en tant qu'option méthodologique, l'idée que « la fonction d'onde Ψ doit seulement être considérée comme un outil mathématique servant à un calcul de probabilité »⁹⁷. Cela lui fait dire à Bohr ce qui suit : « On peut affaiblir les énoncés à certains égards comme « si »... et à certains autres égards comme « si »..., mais c'est là pour ainsi dire un expédient juridique qui ne peut être transformé en raisonnement clair »⁹⁸. À partir de là, le prix Nobel de physique (1933) a montré comment les nouvelles statistiques quantiques pouvaient être prises en compte en considérant un gaz confiné à l'intérieur d'une cavité comme un système d'ondes stationnaires.

Le lien entre le rayonnement et la matière pour les anciens, nous dit Schrödinger, était traité de façon métaphorique en ce sens qu'il ne voyait pas une relation possible entre le visible qui est la matière et l'invisible qui est le rayonnement. Partant de la découverte de la théorie de Champ de Michael Faraday et des forces électromagnétiques, Schrödinger a établi une proximité entre l'onde et la matière. Allant dans ce même sens, Françoise Baliba estime que la matière se comporte comme de l'électricité en ce sens qu'elle est en perpétuelle oscillation dont ipso facto en rayonnement. Pour réhabiliter et expliquer mieux le rejet de la prépondérance corpusculaire de la matière pour l'adoption de son caractère ondulatoire combattu par Schrödinger, Françoise Baliba, dans sa nouvelle théorie explique ce qui suit que « le

⁹⁵ T. X. THUAN, « Le futur de l'univers : le big bang ou le big crunch ? », in *Où vont les valeurs ?* J. BINDE, (Sld), *Entretiens du XIXe siècle*, Paris, Albin Michel, p. 465.

⁹⁶ E. SCHRÖDINGER, *Mind and matter*, Cambridge, University Press, 1959, p. 62.

⁹⁷ *Ibid.*, p. 63.

⁹⁸ Lettre de Schrödinger à Bohr, 23 octobre 1926, in N. Bohr, *Collected Works*, Vol.6, p. 459.

rayonnement porte la marque indélébile de la matière qui la produit : non seulement le rayonnement n'existe pas avant lui-même, sans la matière, mais de plus, il fonctionne comme révélateur de la structure interne de la molécule »⁹⁹. Cette nouvelle disposition de la mécanique quantique rejette l'hypothèse de l'existence d'une réalité extérieure en ce sens que le rayonnement émis ou absorbé est donc ce par quoi la matière se fait connaître. Il s'agit là d'une relation de contact sans laquelle on ne peut rien dire sur le phénomène extérieur. C'est dire que, « le rayonnement est ce que la molécule laisse filtrer de son intimité, exporte en dehors d'elle-même, sa marque en quelque sorte, que ce soit quand l'atome est isolé ou quand il baigne dans le rayonnement »¹⁰⁰. Il est ainsi aisé de conclure avec Erwin Schrödinger que « l'onde qui se propage dans la nature, produit une énergie en fonction de la constitution atomique de la matière qui l'a initiée. A cet égard, l'onde ne peut préexister avant la matière au regard de la force nucléaire qu'incarne le noyau atomique »¹⁰¹.

Notre observation sur le monde macroscopique présente des phénomènes apparemment statiques, perceptibles par tous selon Erwin Schrödinger. En réalité, le monde tel qu'il se présente est constamment en mouvement. Cette pseudo stabilité perceptible sur le plan macroscopique est présentée par les physiciens comme la décohérence. En convoquant le concept de décohérence, c'est pour montrer qu'il n'y a pas de stabilité s'agissant des phénomènes physiques. La description classique faisant des corps une réalité locale était dans une certaine mesure un argument méthodologique. On peut donc conclure avec Schrödinger que « tout corps en mouvement ou non émet un rayonnement »¹⁰². Il se trouve que c'est au moment de la mesure qu'on s'aperçoit qu'un corps est stable. La physique moderne montre qu'il y a toujours une perturbation lorsqu'on procède à la mesure. En réalité, ceci traduit qu'aucun corps n'est isolé. Selon Schrödinger, au sujet du tout et de la partie structurant la nature ondulatoire de la matière, « d'un côté c'est le théâtre et seul théâtre où l'ensemble du processus mondial prend place, d'un autre, c'est un accessoire insignifiant qui peut être absent sans affecter en rien l'ensemble. »¹⁰³ C'est dire que l'intégration du bruit, de l'erreur et du hasard du champ de la connaissance est devenue une valeur ajoutée pour la connaissance objective. Cette valeur ajoutée va donc soulever la question de la mesure de la fonction d'onde, de la fonction d'état en physique. C'est pour explorer cette nouvelle question de la mesure que

⁹⁹ F. BALIBA, « la seconde année miraculeuse d'Einstein », in M. BITBOL, *Ondes matière et univers : relativité générale, physique quantique et applications*, (Sld), Paris, EDP Sciences, 2018, p. 29.

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 30.

¹⁰¹ E. SCHRÖDINGER, *La nature et les grecs* traduit par Michel Bitbol, Paris, Seuil, 1992, p. 64.

¹⁰² *Id.*

¹⁰³ *Ibid.*, p. 64.

Schrödinger va émettre l'expérience de la pensée encore appelée l'expérience du « chat de Schrödinger ».

3- Erwin Schrödinger sur la question de la mesure (fonction d'onde, fonction d'état et l'équation : le chat de Schrödinger)

En physique, la mesure consiste fondamentalement en une interaction entre un dispositif expérimental et un objet. En physique classique, le problème de la mesure était pratique : il était question d'accroître la précision des instruments de mesure pour leur permettre de dévoiler les propriétés objectives du réel. Plus les instruments étaient perfectionnés, moins leur présence était ressentie et plus la description était objective. En physique quantique, l'instrument de mesure est irréductible à la place fondamentale qu'elle avait dans la description du phénomène macroscopique. Cette variation du statut de l'instrument crée donc un paradoxe dans la situation de la mesure en physique quantique. Ce paradoxe se justifie en partie par le fait que la description d'un phénomène varie suivant que celui-ci est observé ou pas. Face à un système quantique libre, c'est-à-dire un système qui n'est l'objet d'aucune observation et qui évolue dans le temps de manière causale et déterministe suivant l'équation de Schrödinger dépendante du temps, la mesure est définie en rapport avec la fonction d'état. La résolution de cette fonction permet de « *déterminer l'état du système à n'importe quel instant connaissant sa fonction d'onde initiale* »¹⁰⁴. Mais, comme nous l'avons vu, la fonction d'onde n'est qu'une fonction de probabilité qui nous renseigne sur les résultats possibles que nous pouvons obtenir en effectuant une mesure d'une grandeur sur le système. Ce sont alors des distributions de probabilités qui évoluent de manière causale.

Dans l'expérience des deux fentes, l'onde de probabilité, représentant les distributions de probabilité de la présence de la particule, se propage de façon continue et causale entre le diaphragme percé de deux fentes et la plaque sensible. Le mouvement des particules, écrivait Bohn, suit une loi de probabilité, mais la probabilité se propage en conformité avec la loi de causalité. De plus, dans l'expérience de Stern et Gerlach, l'atome d'argent dans l'état superposé évolue de façon causale ; ou plutôt les probabilités se présentent en faisant de la propagation un continu tant qu'aucune mesure n'est effectuée. Mais, quand le système est observé, il cesse d'évoluer causalement. La fonction d'onde Ψ constitue pour Schrödinger,

l'instrument permettant de prédire la probabilité des valeurs mesurées. Elle incarne à chaque instant la somme de toutes les éventualités futures que prédit la théorie, présentées comme dans un catalogue. Elle constitue le lien de relations et de conditions entre les diverses mesures, à la manière de ce qui se passait en théorie

¹⁰⁴ E. SCHRÖDINGER, *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie* (1967), traduit de l'anglais par Léon Keffler, Paris, Cristian Bourgois Éditeur, 1986, p. 19.

classique pour le modèle et son état à chaque instant. La fonction d'onde a en outre beaucoup d'autres points communs avec le modèle classique. Elle est, dans son principe, parfaitement déterminée par un nombre fini de mesures convenablement choisies. C'est ainsi que ce catalogue de prévisions se présente initialement. Ensuite il se transforme au fil du temps, tout comme l'état du modèle classique, de manière déterminée et unique (causale). L'évolution de la fonction d'onde est régie par une équation aux dérivées partielles. Cela correspond à l'évolution du modèle classique en l'absence de perturbation. Mais cela ne dure que tant qu'on n'effectue pas une nouvelle mesure, quelle qu'elle soit. Lors de chaque mesure, on est contraint de supposer que la fonction Ψ subit une modification très particulière, assez brutale.¹⁰⁵

Schrödinger associe alors à tout électron se déplaçant à une certaine vitesse une « onde matière », ou « onde pilote », représentée par un ensemble d'ondes appelé « paquet d'ondes », assimilable à une superposition d'ondes de longueurs différentes, concentrées dans un petit espace bien défini et se propageant à l'intérieur d'un atome. Cela permet d'associer ce « paquet d'ondes » à une particule. Cette particule, avec toutes ses caractéristiques physiques, doit pouvoir être représentée par une fonction d'onde. De cette manière tout comme pour l'onde de matière de Louis de Broglie, Schrödinger assimile un électron à une corde vibrante fermée, située autour du noyau, et dont la fréquence de vibration est liée à une énergie déterminée. Avec cette hypothèse, la notion de saut quantique disparaît puisque, le mode vibratoire changeant l'onde varie (d'une façon continue) d'un état énergétique à un autre (assimilable à un changement d'orbite dans le modèle de Bohr). Pour mieux comprendre cette démarche schrodingerienne de formalisation des travaux de De Broglie, il suffit de savoir que le mathématicien français Joseph Fourier (1768-1830) avait démontré que toute fonction, aussi complexe soit-elle, est égale à une somme de fonctions simples appelées harmoniques.

Le prix Nobel (1933) peut donc assimiler l'ensemble des fonctions simples de Fourier à son paquet d'ondes, dont les amplitudes superposées les unes aux autres donneraient une fonction Ψ particulière. Un autre exemple issu du monde musical peut aider mieux à comprendre l'idée de Schrödinger. Un son est toujours composé d'un son fondamental, doté d'une fréquence déterminée, et d'une ou plusieurs harmoniques, elles aussi de fréquences précises. Les rapports de ces harmoniques avec le son fondamental sont des nombres entiers ou des quotients de ceux-ci (phénomènes très rares dans notre monde macroscopique, assimilable aux discontinuités du monde microscopique générées par les quanta). Erwin conclut donc ainsi : « une chose est claire : si ce n'est pas la réalité qui détermine le résultat de la mesure, c'est donc au moins le résultat de la mesure qui détermine la réalité ; le résultat doit exister

¹⁰⁵ *Id.*, *Physique quantique et représentation du monde*, Paris, Seuil, 1992, pp. 109-110.

réellement après la mesure en ce sens que, lui seul continuera à être reconnu. »¹⁰⁶ Cela signifie que le critère recherché doit être simplement celui-ci : en répétant la mesure on doit retrouver le même résultat. Cela s'explique mieux par ces propos de Schrödinger :

*l'interaction dument planifiée entre deux systèmes (l'objet mesuré et l'instrument de mesure) constitue une mesure pour le premier système si une caractéristique variable, et directement accessible aux sens, du second (par exemple la position d'une aiguille) se répète lorsqu' on répète immédiatement le même processus sur le même objet mesuré, sous réserve que celui-ci n'ait pas été soumis à d'autres influences entre-temps.*¹⁰⁷

Cet énoncé devra être complété sur certains points : il ne constitue pas une définition irréprochable. La démarche empirique est plus complexe que les mathématiques, et elle ne se laisse pas aisément enfermer. Le dire, c'est reconnaître qu'avant la mesure, une certaine prédiction de son résultat, fournie par la théorie quantique, a pu exister. Le catalogue de prédiction de la fonction d'onde est modifié par la mesure en ce qui concerne la variable mesurée. Si on sait par avance que le procédé de mesure est fiable, la première mesure restreint d'emblée la prévision théorique au résultat (toujours aux erreurs près), qu'elle qu'ait été la prévision antérieure. C'est en cela que consiste typiquement la modification brutale de la fonction d'onde Ψ par la mesure, dont il a été question précédemment. Seulement, le catalogue des prévisions est modifié de cette manière imprévisible non seulement pour la variable étudiée, mais également pour d'autres. L'appareil mathématique de la mécanique quantique y pourvoit de lui-même. D'ailleurs, il ne peut exister de fonction d'onde contredisant cette position, lorsqu'on utilise Ψ conformément à sa vocation, c'est-à-dire pour en déduire des prévisions, on relève donc la différence entre d'un côté les marges d'erreur de mesure et leur statistique, et de l'autre, la marge statistique et théorique. Elles n'ont rien à voir l'une avec l'autre. Elles se manifestent dans les deux espèces bien distinctes. Ceci peut laisser croire que l'interaction entre notre mesure et la particule ne nous révèle pas de façon simultanée la nature du phénomène. Il dévoile sa position en voilant son mouvement, soit son mouvement en voilant sa position ; jamais les deux à la fois. L'expérience du chat de Schrödinger explique mieux dans les prochaines lignes.

Au cours de l'expérience du chat mort et vivant d'Erwin Schrödinger, il faut enfermer un chat dans une boîte hermétique à l'intérieure de laquelle on installe un système radioactif, destiné à tuer le chat. Ce système composé d'un flacon de poison, d'une petite quantité de

¹⁰⁶ *Ibid.*, p. 111.

¹⁰⁷ *Ibid.*, p. 112.

matière radioactive, et d'un compteur. Lorsque la première désintégration du noyau radioactif se produit, le compteur l'enregistre, et déclenche le mécanisme qui libère le poison mortel, ce qui se traduit par la mort du chat. S'il ne déclenche pas, le chat ne meurt pas. Le processus de désintégration d'un noyau radioactif est décrit en termes de probabilités en mécanique quantique, nous l'avons déjà précisé. Il est alors impossible de dire selon la mécanique quantique, quel noyau va se transformer en premier ou encore de dire en combien de temps aura lieu la première désintégration. La seule information que nous pouvons avoir, c'est la probabilité qu'un certain nombre de noyau soit transformé au terme d'un temps donné. On peut dire par exemple que si l'on utilise tel système radioactif, on aura 50% de chance qu'un noyau se soit désintégré au bout de 50 minutes, et 50% de chance que rien ne se soit passé. Et, puisque le sort du chat est conditionné par cette transformation, par ce phénomène microscopique, la mort du chat s'exprime donc elle aussi en termes de probabilités.

De fait, si l'on interprète cette expérience d'un point de vue quantique, à l'image de l'atome qui n'est ni intact ni désintégré dans une superposition de deux états : il est à la fois mort et vivant, c'est-à-dire soit mort soit vivant. Cette expérience, il faut le rappeler, pointe à l'horizon un paradoxe induit en mécanique quantique. Elle pose (cette expérience) le problème de « la mesure » en mécanique quantique. Au regard de cela, on peut se demander si c'est la mesure (observation) qui décide de la réalité des choses ou la conscience de l'observateur qui donne forme à la réalité. Pour Schrödinger, on peut également imaginer des situations parfaitement comme suit,

Un chat est enfermé dans une enceinte d'acier avec le dispositif infernal suivant(qu'il faut soigneusement protéger de tout contact direct avec le chat) : un compteur Geiger est placé à proximité d'un minuscule échantillon de substance radioactive, si petit, durant une heure, il se peut qu'un seul des atomes se désintègre, mais il se peut également, et avec une égale probabilité, qu'aucun ne se désintègre ; en cas de désintégration, le compteur crépite et actionne, par l'intermédiaire d'un relais, un marteau qui brise une ampoule contenant de l'acide cyanhydrique. Si on abandonne ce dispositif à lui-même durant une heure, on pourra prédire que le chat est vivant à condition que, pendant ce temps, aucune désintégration ne se soit produite. La première désintégration l'aurait empoisonné. La fonction Ψ de l'ensemble exprimerait cela de la façon suivante : en elle, le chat vivant et le chat mort sont (si j'ose le croire) mélangés ou brouillés en proportions égales. C'est là un paradoxe. C'est ce qui nous empêche d'accepter de manière naïve qu'un modèle flou puisse représenter la réalité.¹⁰⁸

Schrödinger considère que, de toute évidence, une telle coexistence entre états aussi différents

¹⁰⁸ *Ibid.*, p. 106.

du chat est une situation impossible (grotesque) et en conclut, donc, que quelque chose a dû arriver à la chaîne de Von Neumann avant qu'elle n'aille trop loin. Au nouveau, la difficulté est d'expliquer l'unicité du monde macroscopique : pourquoi, à un niveau macroscopique, un résultat unique (chat vivant, ou chat mort émerge-t-il spontanément, alors que ce n'est pas le cas si l'on se limite strictement à l'équation de Schrödinger. Le chat est, évidemment le symbole de n'importe quel objet macroscopique-Einstein, dans une lettre à Schrödinger de la même année, prenait l'image de l'explosion macroscopique d'un baril de poudre. Un tel objet ne peut jamais se trouver dans un état flou contenant des possibilités contradictoires (bouteille ouverte et fermée, chat vivant et mort, etc.). Ce que le prix Nobel (1933) est en train de nous dire est que sa propre équation ne doit être poussée trop loin, jusqu'à inclure des objets macroscopiques. La mécanique quantique standard, non seulement, est incapable d'éviter de tels cas paradoxaux, mais fournit une recette pour les produire. La conclusion logique est alors qu'un ingrédient supplémentaire est nécessaire pour permettre de sélectionner une seule des branches de la superposition et éviter ces superpositions ridicules.¹⁰⁹ De plus, l'équation du chat de Schrödinger illustre comment les règles de la mécanique quantique standard peuvent conduire à des situations extrêmement étranges, où des objets macroscopiques se trouvent en même temps dans les états complètement différents.

En définitive, si Heisenberg, pour créer son formalisme mathématique, appelé « mécanique matricielle », s'est inspiré des travaux de Bohr, Schrödinger, en 1927 formalise les travaux de Louis de Broglie pour fonder sa « mécanique ondulatoire ». Celle-ci est essentiellement basée sur une fonction d'onde qui permet de déterminer à tout instant, dans n'importe quel atome, avec une certaine probabilité, la présence géographique d'un électron dans un volume donné très petit. Cela prouve de nouveau que la physique quantique est inféodée aux probabilités, et donc « *non déterministe* »¹¹⁰. Pour arriver à ce résultat, Schrödinger justifie la notion de « paquet d'ondes » de Louis de Broglie, constituée d'une superposition d'ondes différentes. Cette conception crée un problème de compréhension totale de la matière.

¹⁰⁹ F. LALOË, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique ?*, 2^e édition, révisée et augmentée, Paris/EDP Science, CNRS Editions, 2017, p. 31.

¹¹⁰ *Ibid.*, p. 33.

Conclusion partielle

Au terme de cette première partie intitulé « *Erwin Schrödinger sur les principes fondamentaux de la conception microphysique de la matière* », nous avons mis en relief les motivations qui nous ont permis d'expliquer et de justifier pourquoi le physicien ne doit plus seulement se contenter de la connaissance macroscopique qu'il a de la matière mais aussi s'aventurer dans un monde où son intuition n'est plus fondamentalement au rendez-vous. Ici, il n'était pas sans importance de revenir sur les implications idéologiques et méthodologiques qui ont conduit les physiciens à rompre avec l'illusion d'un savoir déterministe consolidé par la mécanique classique d'une part et celle du fondationnalisme d'autre part. Ce retour sur les implications idéologiques et méthodologique nous a permis de prouver pourquoi, en physique quantique, la matière a cessé d'être pensée comme « *la brique élémentaire* »¹¹¹ pour devenir une baguette ou un paquet d'onde. Ce changement de paradigme a donné lieu à ce qu'il convient d'appeler « *phénomène* » quantique. En claire, l'examen des errements de la physique classique dans notre première partie de travail, nous a finalement permis de conclure sous la plume de Schrödinger que l'hypothèse d'une science dont la probabilité est égale à l'unité est une pure illusion. Par cette conclusion, il nous a été donné de déceler une rupture entre l'évolution des idées classiques et celles en usage dans la physique des particules. En fait, le but de cette rupture consistait à redéfinir la matière, mieux le réel.

¹¹¹ *Ibid.*, p. 33.

DEUXIEME PARTIE :
LES INSUFFISANCES D'UNE CONCEPTION PARTIELLE
DE LA MATIÈRE À L'ECHELLE QUANTIQUE.

Introduction partielle

La partie que nous nous préparons à exposer, consistera à questionner et à interroger la pertinence, la validité ainsi que les enjeux d'une conception schrödingerienne de la matière. Ainsi sera-t-il alors question pour nous de déceler à travers une évaluation, l'hypothèse d'une conception partielle de la matière à l'échelle quantique. En fait, nous reconnaissons que Schrödinger fut parmi les premiers scientifiques à vouloir comprendre philosophiquement le sens des lois de la mécanique quantique et précisément celui de la réduction du paquet d'ondes. Cela a été effectif à partir de l'équation qui porte son nom : l'équation de Schrödinger, laquelle équation donne l'évolution des « états quantiques »¹¹². Cette expérience qui fut imaginée en 1935 par Erwin Schrödinger, l'une des grandes figures de la mécanique quantique a été formulée dans une lettre envoyée à Einstein. Il s'agissait alors d'une expérience dont l'objectif était de mettre en évidence une conséquence pour le moins surprenante de la physique des particules, en plein essor dans les années 30. Il faut le rappeler, en mécanique quantique, on ne parle pas de la position d'une particule comme en mécanique classique mais plutôt de la probabilité de trouver telle particule à un moment donné. Cette situation conduisit le physicien à une compréhension partielle de la matière. L'examen des inquiétudes et difficultés créées en nous par cette conception partielle de la matière constituera la pierre angulaire de notre analyse.

¹¹² P. Vidil, « Cantique des quantiques : le monde existe-t-il ? » in Ecole Centrale de Lyon (en ligne), mis en ligne le 4 mars 2013, consulté le 5 novembre 2022.

CHAPITRE IV : DE L'IRREDUCTIBILITE DES ELEMENTS SUBATOMIQUES AU PRINCIPE D'ONDULATION

Dans ce chapitre, nous allons évaluer la conception Schrödingerienne de la matière. L'essentielle de cette évaluation portera sur les limites du réductionnisme des éléments constitutifs de la matière subatomique. Il s'agira d'exposer les raisons qui justifient l'impossibilité de réduire les éléments subatomiques au principe d'ondulation. Pour y parvenir, nous construirons un raisonnement trilogique. Il s'agira de présenter en premier lieu, les difficultés qu'éprouve la communauté scientifique à saisir l'énergie en dehors de la masse comme l'envisageait Erwin Schrödinger. Ces difficultés nous conduiront à un deuxième examen ; celui de l'inévitabilité du principe de complémentarité dans la mécanique quantique. Au terme de la justification de la permanence de ce principe de complémentarité dans la science moderne nous proposerons une reconsidération de la doctrine de Copenhague comme solution pour la meilleure lecture du rapport entre l'onde et la particule.

1- Des difficultés de saisir l'énergie en dehors de la masse

Dans la première partie de ce travail, nous avons démontré que la matière, est animée par deux forces. L'une de ces forces que nous avons mentionnées est celle qui canalise l'énergie dans la matière. Il s'agit des forces électromagnétiques qui découlent de la dimension ondulatoire de la matière. On peut penser avec Schrödinger qu'à l'intérieur d'une cavité comme un système d'ondes stationnaires, on peut trouver un gaz confiné. Seulement, au lieu de négliger la masse pour considérer la charge électrique d'un corps, il faut revenir à la formule du génie allemand, Albert Einstein pour dire que tout corps a une masse, par conséquent, la masse d'un corps est fonction de son énergie : $M=E$. L'énergie est ce qui produit la désintégration de la matière, sa connexion et son attraction vers une autre en fonction de sa masse. C'est cette relation entre l'énergie et les autres composantes de la matière qui fait dire à Michel Lebellac que « *dans la composition de l'atome noyau et en électron, un concept important est celui de l'énergie de liaison* »¹¹³. L'énergie de liaison joue un rôle de désintégration dans la matière.

Dans la physique classique, on sait déjà qu'une matière peut être constituée de plusieurs

¹¹³ J. Maxwell, cité par Trin Xuan Thuan, *La plénitude du vide*, Paris, Albin Michel, 2016, pp. 161-162.

atomes. Pourtant, dans leur constitution, ces atomes subissent une réaction chimique analogue à la réaction nucléaire. Nous parlons d'analogie parce que, si une réaction nucléaire est une redistribution des protons et des neutrons dans des noyaux différents de ceux initiaux, de même, une réaction chimique est une redistribution des atomes dans des molécules différentes de celles initiales. À partir de là, contrairement à Schrödinger, pour qui, la matière ne se comprend essentiellement qu'à partir de son aspect ondulatoire, il reste que la masse (corpularité) en est aussi un constituant indispensable dans sa compréhension. C'est donc dire qu'on ne peut pas saisir aisément l'énergie en dehors de sa masse. Comme on peut le constater, les charges électriques de nature opposée s'attirent. Cette attraction en ce qui concerne la matière, empêche aux particules de la matière d'interagir sans tomber dans le noyau. Dans leur interaction, la masse cesse d'être uniquement ondulatoire comme le présageait Erwin Schrödinger, pour se manifester aussi comme un corpuscule. Dans la matière que constitue la lumière par exemple, l'on y retrouve le photon, mais aussi le neutron. Or, le photon possède une certaine quantité d'énergie qui est inversement proportionnelle à sa longueur d'onde. Dans le cas de la lumière, la longueur d'onde qui est par définition distance entre deux crêtes successives de cette onde, est à la fois ondulatoire et corpusculaire.

À partir de cette précision, on sait que l'observation d'une matière extrêmement petite nécessite que l'on l'illumine avec des particules de lumière ou de photon. En fait, la lumière permet de déterminer la capacité énergétique de la matière avec une précision extrême d'un milliardième de millimètre. Dans tous les cas, le degré de précision avec lequel la lumière peut faciliter la détermination de la capacité énergétique d'une matière dépend non seulement de la longueur d'onde émise par ses photons, mais également de la corpularité régie par sa masse. *« Plus la longueur d'onde est grande, plus l'énergie est faible, plus les détails sont flous et plus la réalité est indistincte. En revanche, plus la longueur d'onde diminue, plus l'énergie augmente, plus les détails se précisent, plus la réalité est définie »*¹¹⁴. La lecture de la variété entre l'énergie et la longueur d'onde a permis aux cosmologues de constater que l'univers est en expansion. Seulement, cette expansion ne le soumet pas à une course vers l'infini. Nous émettons une telle hypothèse parce que la terre est dans l'univers, la planète qui a la capacité d'attirer les autres. Cependant, les autres planètes ne peuvent tomber parce que la force d'attraction n'est pas telle que les autres planètes cessent d'être en expansion. De fait, si la terre n'avait pas cette pesanteur, la vitesse aurait pu être élevée au point où, à un moment, on pourrait mieux savoir la distance qui sépare la terre de Jupiter par exemple. C'est donc la force de

¹¹⁴ *Ibid.*, p. 165.

pesanteur qui permet au physicien de pouvoir maîtriser la distance entre les planètes. C'est toujours par rapport à elle comme le précise Stephen Hawking, qu'on parvient à déterminer la position et la luminosité des étoiles. A partir des connaissances enregistrées en cosmologie, on sait que

*la brillance apparente d'une étoile dépend de deux facteurs : la quantité de la lumière qu'elle rayonne (sa luminosité), et sa distance par rapport à nous. Pour les étoiles proches, nous Réciproquement, si nous connaissons la luminosité d'étoiles apparentes à d'autres galaxies, nous pourrions trouver leur distance en mesurant leur brillante apparente.*¹¹⁵

La rotation de la terre autour du soleil nous permet de mesurer directement la distance qui la sépare des étoiles lointaines. Pourtant, les yeux rivés au ciel nous permettent de constater que lorsqu'une étoile est proche de nous, elle semble être excessive en mouvement. Par exemple, nous voulons dire avec l'auteur de *Physique quantique et représentation du monde* que,

*l'étoile la plus proche, proxima du centaure est ainsi à environ quatre années-lumière (sa lumière met à peu près quatre ans pour atteindre la terre), ou à environ quarante mille milliards de kilomètre. La plupart des autres étoiles visibles à l'œil nu se tiennent en-deçà de quelques centaines d'années-lumière de nous. Notre soleil, par comparaison, n'est, lui qu'à huit petites minutes lumières ! Les étoiles visibles semblent occuper l'ensemble du ciel nocturne, mais elles sont particulièrement concentrées dans une bande que nous appelons la voie lactée.*¹¹⁶

En fait, la physique moderne montre que c'est la pesanteur qui empêche la vitesse de déplacement des planètes d'être totalement indépendante de la constitution de la terre. Grâce aux connaissances enregistrées en géologie, nous savons que la terre est structurée de noyau et de Nickel.

*C'est cette constitution qui occasionne la formation des pierres aimantées qui sont des minéraux constitués d'un oxyde de Fer et de la magnétique. Grâce à ses constituants, la terre dans sa rotation émet des forces magnétiques qui interfèrent avec les forces électriques des autres planètes en créant des ondes qui les empêchent de tomber.*¹¹⁷

Lorsque nous affirmons que la terre émet des forces magnétiques, cela peut paraître utopique. Heureusement, l'existence des pierres aimantées ou aimants naturels en Grèce et plus précisément près de la ville Magnésie, renforce notre conviction. Comme on peut le constater,

¹¹⁵ S. HAWKING, *Une brève histoire du temps. Du big-bang aux trous noirs*, Paris, Flammarion, 1989, p. 58.

¹¹⁶ *Ibid.*, pp. 157-158.

¹¹⁷ M. M. NGOUWOUO, *op.cit.*, p. 65.

la pierre aimantée est un minéral constitué d'un oxyde de Fer et de la magnétique. Sa formule brute est Fe_3O_4 .

À la suite de cette précision, on peut se rendre compte que, ce ne sont pas des forces fantomatiques qui empêchent le soleil de tomber sur la terre comme le pensait Einstein et plus tard Schrödinger. C'est probablement cette raison mutuelle de même pôle (Nord-Nord ou Sud-Sud) qui explique l'antagonisme des forces entre la terre et le soleil. « *Dès 1600, William Gilbert a compris que la terre se comportait comme si en son cœur, existait in gigantesque aimant* »¹¹⁸. William Gilbert a la conviction que la nature de la terre est d'attirer les objets vers elle. Dans cette logique, on ne peut donc pas déconnecter la terre des autres planètes car l'isolement de la terre n'est pas possible.

Les spéculations théoriques faites par le physicien russe Friedman en 1922 et l'Abbé Georges Lemaître en 1927, explique concrètement comment les ondes associées à la masse permettent d'expliquer le phénomène d'expansion à partir de la théorie de la relativité. En interprétant cette théorie, ces deux physiciens ont émis « *L'idée d'un univers en expansion, qui se dilaterait dans de proportions gigantesques* »¹¹⁹. Cette idée, bafouée d'esprit, sera matérialisée plus tard par Georges Gamow. Nous parlons de matérialisation parce que, dans son analyse de la question des origines, il estimait déjà qu' « *Au début de l'univers, toute la matière était concentrée en un petit point et que cette matière s'était brutalement éloignée sous l'effet d'un phénomène brutal qu'on appellera plus tard d'un mauvais (mais spectaculaire) nom : le Big-bang* »¹²⁰.

En astrophysique, ce changement de couleur est communément appelé « *le décalage vers le rouge.* »¹²¹. C'est ici que le phénomène ondulatoire entre en jeu. En remontant le temps vers la période d'expansion cosmique, les astrophysiciens ont constaté un phénomène étrange : l'expansion conserve la distribution thermique, mais affecte la température. Cette stabilité s'explique par le mouvement d'interaction du spectre thermique avec les électrons jusqu'à l'apparition de l'hydrogène à $3 \cdot 10^3$ Kelvin. Par-là, nous voulons dire que, pendant la période d'expansion, la matière et le rayonnement sont à la même température. IL faut le dire, cette uniformité se justifie par le fait que l'univers déclenche automatiquement le découplage électromagnétique à une température élevée. Seulement, après ce découplage : « *le rayonnement fossile n'est plus affecté par la matière. Les longueurs d'onde de photons s'étirent*

¹¹⁸ C. ALLEGRE, *Un peu de science pour tout le monde*, Librairie Arthème, Fatard, 2003, p. 185.

¹¹⁹ *Ibid.*, p. 153.

¹²⁰ *Ibid.*, p. 154.

¹²¹ *Ibid.*, p. 150.

avec l'espace, et les photons perdent de l'énergie inversement avec le facteur d'échelle. »¹²²

Concrètement, le rallongement de la longueur d'onde avec l'espace qui occasionne la perte d'énergie par les photons, stabilise la distribution des amplitudes au cours de l'expansion. Selon Reever, l'expansion conserve la distribution thermique en ce sens que « *Entre les temps t_1 et t_2 le photon passe de l'énergie $E_1 = hv_1$ à $E_2 = hv_2 = hv_1 (R1/R2)$. »¹²³ On doit comprendre de manière théorique que l'expansion affecte seulement la température. Or Einstein Infeld critiquait déjà ce type de généralisation. Dans sa mise en garde à Schrödinger, il montre que,*

tant que nous nous occupons du mouvement le long d'une ligne droite, nous sommes loin de comprendre les mouvements qu'on observe dans la nature. Nous devons considérer les mouvements sur des lignes courbes et notre tâche immédiate est de déterminer les lois qui gouvernent ces mouvements, ce qui n'est pas aisé. Dans le cas du mouvement rectiligne, nos concepts de vitesse, de changement de vitesse et de force se sont montrés extrêmement utiles. Mais, nous ne voyons pas immédiatement comment nous pouvons les appliquer au mouvement sur une ligne courbe.¹²⁴

Expliquant le caractère corpusculo-ondulatoire, François de Closets fait remarquer à Einstein et à Erwin Schrödinger que :

l'onde est continue, elle se répand de proche en proche, s'étale à mesure qu'elle progresse, possède des propriétés vibratoires : fréquences, longueur d'onde etc. La particule, à l'inverse, est un grain de matière individualisée qui possède une masse, une vitesse, donc une impulsion, qui suit une trajectoire etc.¹²⁵

Face à ce constat, force est de constater que, l'énergie et la masse sont indissociables dans la compréhension de la matière en physique quantique. En fait, si Schrödinger accorde la primauté à l'aspect ondulatoire, c'est parce qu'il croyait tout comme Einstein au caractère déterministe de la matière. Pour Reeves, la théorie quantique n'a pas encore livré tous ses secrets. En le disant, il partage l'idée du probabilisme scientifique. Laquelle idée se solde en principe de complémentarité.

2- De l'inévitabilité du principe de complémentarité dans la mécanique quantique

Les physiciens classiques pensaient la matière selon les principes de causalité. Dans

¹²² H. REEVERS, *Dernières nouvelles du cosmos. Vers la première seconde*, Paris, Seuil, 1994, p. 137.

¹²³ *Id.*

¹²⁴ A. EINSTEIN et I. INFELD, *l'Evolution des idées en physique (1936)*, traduction de M. Salovine, collection « champs », Paris, Flammarion, 1982, p. 22.

¹²⁵ F. CLOSETS (De), *Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire*, Paris, Seuil, 2004, p. 318.

cette configuration, la réalité était essentiellement locale. Avec la découverte de la physique quantique, certains principes de la physique classique sont entrés en crise. C'est le cas du principe de la localisation. La non localisation de la matière se justifie en partie par le caractère ondulatoire de celle-ci. La forte appartenance de Schrödinger aux principes du déterminisme lui a empêché d'intégrer cette rigueur de la nouvelle lecture du comportement de la matière. Même si le disciple (Schrödinger) de Friedrich Hasenöhrl reconnaît essentiellement la réalité ondulatoire de la matière, parce que découlant d'un principe déterministe, il ressort néanmoins que cette nouvelle interprétation (principe de complémentarité) est devenue étrange dans la conception du réel atomique qui ne renvoie plus à une réalité formelle.

Avec l'avènement de la mécanique moderne, l'activité des physiciens quant à la nature de la matière était au centre des polémiques sans fin. C'est donc dire que la nouvelle conception de la matière reste assez difficile pour l'homme ordinaire. Ainsi, admettre la possibilité pour un élément microscopique d'être à deux endroits à la fois est paradoxale, voire impossible en mécanique classique. Niels Bohr, figure de proue de l'esprit de Copenhague, justifie la fluctuation que prennent les particules élémentaires par le concept de complémentarité. Bohr expose, en 1927, sa thèse de complémentarité en mécanique quantique à la communauté scientifique. Laquelle thèse stipule de manière sommaire que la nature ondulatoire et corpusculaire d'une particule élémentaire quoiqu'exclusives, ne sont pas contradictoires, mais plutôt complémentaires. Autrement dit, de l'avis de Bohr, il est impossible d'observer le double aspect de la particule simultanément avec précision comme ce fut le cas en mécanique classique. Albert Einstein par exemple, dans une vision déterministe, considérait que la mécanique quantique était inachevée. L'indéterminisme de son point de vue était dû à l'absence de certains paramètres qui seraient un jour susceptibles d'être trouvés. La position d'Albert Einstein à ce niveau relevait aussi d'une simple intuition intellectuelle.

Parfois, dans le développement d'une théorie, les précurseurs sont souvent vite oubliés : c'est le cas dans l'idée de complémentarité. Il se trouve que les scientifiques étaient préoccupés dans la description des éléments atomiques. Vers la fin des années 1920, Paul Dirac entreprend de rechercher des équations susceptibles de décrire le comportement des microparticules. Pour le faire, il emprunte la théorie de la relativité restreinte d'Albert Einstein tout en évitant les équations de Newton. Pour finir, il aboutira à un résultat paradoxal comme l'affirme Gabriel Chardin. Dans son vocable, on lit qu' « *après quelques tâtonnements, Dirac parvint à écrire une équation qui avait pratiquement la même forme que l'équation de Schrödinger, mais il s'est aperçu qu'à chaque solution positive qu'elle lui fournissait, on pouvait associer une solution* »

négligée »¹²⁶. Le résultat de l'équation de Paul Dirac avait deux grandeurs, l'une positive et l'autre négative. Cela posait déjà un problème majeur, celui de l'instabilité dans la nature de la réalité des microparticules, ce qui modifiait déjà nécessairement notre conception de la matière. À partir de là, Dirac posait les jalons qui allaient plus tard influencer Niels Bohr, lui permettant de développer le concept de complémentarité dans le comportement des particules élémentaires. Ainsi, qu'entend-on par complémentarité en physique et quelles sont les conditions de son émergence ?

La complémentarité a été au centre des débats scientifiques sur la question de la théorie des quanta et l'avenir de la physique. Bernadette Bensaude Vincent¹²⁷ rappelle qu'en septembre 1927 au Congrès International de physique, et à Bruxelles, lors du 5^e Conseil de physique à Solvay, les scientifiques ont clairement défini le cadre normatif pouvant caractériser les aspects des particules élémentaires. Niels Bohr semblait bien maîtriser cette nouvelle expression de la physique atomique, son orientation était traduite par trois idées essentielles. Parmi ses idées, on a :

*l'existence de plusieurs descriptions nécessaires d'un même phénomène ; l'idée qu'il existe des couples de descriptions mutuellement exclusives, qui ne peuvent être appliquées simultanément ; l'idée que ni l'une ni l'autre n'est suffisante pour donner une explication exhaustive du phénomène en question, et que par conséquent, une description au sens classique est impossible.*¹²⁸

L'un de thème du débat autour de la théorie du quanta et l'avenir de la physique portait sur le formalisme mathématique. Ce thème était au centre de ce débat pour reconforter la non conciliation de la position et l'impulsion de l'atome. Niels Bohr, dans sa projection sur cet univers complexe écrit : « *j'espère que ce point de vue ne pourra que contribuer à concilier des conceptions apparemment contradictoires défendues par les différents physiciens* »¹²⁹. Autrement dit, Niels Bohr se donnait le courage de préciser que la complémentarité n'est pas fonction des insuffisances du dispositif expérimental ou une question de formulation théorique c'est-à-dire des insuffisances langagières. Il parlait plutôt de la signification physique de la méthode de la théorie des quanta.

A la fin du débat sur la théorie du quanta et l'avenir de la physique, la question de la

¹²⁶ G. Chardin, *L'antimatière*, Paris, Flammarion, 1996, p. 15.

¹²⁷ Cité par R. Pondy, in « *Le réel quantique : entreprise microphysique ou perspective métaphysique*, Thèse soutenue à l'Université de Yaoundé I en 2022 », Sous la direction de I. S. Mouchili Njimom, p. 154.

¹²⁸ B. BENSUAUDE VINCENT, « L'évolution de la complémentarité dans les tests de Bohr (1927-1939) ». In *Revue d'histoire des sciences*, Tome 38, N°3/4, 1984, p. 235.

¹²⁹ *Ibid.*, p. 236.

réalité en physique est restée un fait très préoccupant. La physique quantique ayant rejetée la causalité, il est impossible aujourd'hui de décrire de façon distincte les éléments qui caractérisent une microparticule en mouvement. Dans le contexte moderne, le déterminisme n'a plus de place. En mécanique classique, l'état d'un système est défini par ses conditions initiales et finales. Affirmer comme le prix Nobel de physique qu'un système est déterministe signifie que son état à l'instant t_0 est bien connu et qu'il est possible de prédire son état à l'instant (t_0+t) . Voilà pourquoi : « *la seule définition acceptable pour le physicien est que la causalité est la détermination rigoureuse de l'avenir par le présent, entraînant une visibilité parfaite* »¹³⁰. Si la causalité reste de mise au sens de la réalité indépendante, les conditions de prédiction de l'état d'un système à un instant donné sont clairement déterminées. Or, dans le contexte de la physique atomique, jamais une telle possibilité ne se présente. Toute connaissance des conditions initiales est fondamentalement soumise à l'indétermination du fait même de la présence de l'observateur ou de l'instrument d'expérimentation. L'introduction des statistiques de probabilité est le moyen le plus crédible permettant de cerner la position éventuelle de l'atome dans une région de l'espace.

La complémentarité semble également être introduite dans le projet de mesure des particules élémentaires. À partir de là, la relation d'incertitude de Werner Heisenberg présente l'incapacité de cerner la réalité d'une particule au cours d'une même expérience. Roland Omnès affirme que « *l'origine de la complémentarité réside dans la non commutativité des projecteurs associés à des propriétés qui mettraient en jeu des observables différentes à un même instant, quand ces observables ne communiquent pas* »¹³¹. Dans cette réflexion renvoyant à la physique classique, le mouvement uniforme d'un corps était caractérisé par sa position en un temps donné et par sa vitesse. Au niveau corpusculaire, on ne peut parler à la fois de la position et d'impulsion au même moment. Dans l'impossibilité d'appliquer les conditions de la mécanique classique, il faut absolument faire recours au principe de complémentarité qui caractérise de manière spécifique les aspects logiques des systèmes quantiques. Certes, il faudra du temps pour s'accoutumer à cette nouvelle considération de la matière mais, cette méthode paraît plus rationnelle. Cela pose aussi des problèmes philosophiques. La complémentarité semble néanmoins inévitable si on s'accorde que la mécanique quantique est complète, elle propose une description holistique de la matière. Louis de Broglie avait émis l'hypothèse selon laquelle le comportement des particules élémentaires est identique au niveau macroscopique. Notre observation des phénomènes macroscopiques qui présente une certaine stabilité n'est en effet

¹³⁰ L. BROGLIE(De), *Continue et discontinue en physique moderne*, Paris, Albert Michel, 1941, p. 60.

¹³¹ R. OMNES, *Comprendre la mécanique quantique*, Parnéouid, Laval, 2001, p. 159.

qu'une illusion optique de notre part. Sous ce rapport, la thèse schrodingerienne qui voudrait à partir de la mécanique ondulatoire, aboutir à une description déterministe de la matière n'est plus d'actualité car, au niveau atomique, toute tentative de séparation du sujet et de l'objet est impossible. À ce niveau, Schrödinger parle plutôt de l'esprit qui observe. Mais, il existe un prolongement entre les deux entités : l'observateur et l'observé forment un tout inséparable. C'est donc dire que la complémentarité ici justifie la continuité qui existe entre les éléments d'un système de représentation.

Par la complémentarité, Niels Bohr prétend lever le réductionnisme classique qui réduisait le sujet à un simple spectateur. En revanche, la complémentarité permet d'expliquer le paradoxe des éléments exclusifs d'un même système en montrant que cet état des choses n'est pas irrationnel mais plutôt normal. Contrairement à Einstein et ses épigones, de Broglie et Schrödinger, défenseurs du déterminisme, qui considéraient la théorie des quanta comme une science inachevée, Niels Bohr en retour utilise plutôt la complémentarité pour répondre aux reproches s'agissant de l'incomplétude formulée par ses devanciers. Au sujet de la matière intriquée, il démontre « *qu'il n'y a aucun arbitraire et que la mécanique quantique offre une description complètement rationnelle des phénomènes physiques tels qu'on les rencontre dans les processus atomiques* »¹³². À partir de cet instant, on peut se permettre de dire que la physique classique était plutôt inachevée et ne donnait qu'une description partielle de la réalité.

Le principe de complémentarité au niveau atomique permet d'éviter toute interprétation classique des phénomènes se rapportant aux questions de causalité et de déterminisme. C'est ce qui fait dire à Bernard d'Espagnat qu'« *on ne saurait exhaustivement décrire pas la spécification des valeurs d'un seul jeu de grandeurs dynamiques simultanément mesurables* »¹³³. C'est donc la complémentarité qui est la conséquence directe du formalisme quantique. En voulant promouvoir une nouvelle épistémologie, Niels Bohr veut ainsi remplacer le principe de causalité de la physique classique. Il conduit « *à prêter à la complémentarité la fonction explicative* »¹³⁴ de la relation d'incertitude de Werner Heisenberg. Il se trouve que les quantités conjuguées ne peuvent pas être fixées de façon définitive avec une grande précision. C'est plutôt l'aspect complémentaire qui permet au moment de la mesure des particules atomiques d'avoir la position ou l'impulsion, mais pas les deux à la fois. Selon Werner Heisenberg, « *le principe de complémentarité introduit par Bohr dans l'interprétation de la mécanique quantique a encouragé les physiciens à utiliser le langage ambigu plutôt que non*

¹³² B. BENSUADE VINCENT, *op.cit.*, p. 241.

¹³³ B. ESPAGNAT(D'), *Le réel voilé. Analyse des concepts quantiques*, Paris, Fayard, 1994, p. 240.

¹³⁴ B. BENSUADE VINCENT, *op.cit.*, p. 243.

ambigüe, à utiliser les concepts plutôt vague en conformité avec l'indétermination »¹³⁵. À première vue, le comportement des éléments atomiques à l'échelle de Planck est comparable pour l'homme ordinaire à une zone de non droit. Au contraire, c'est une zone où le chaos et l'harmonie règnent. Pierre Simon de Laplace résume ce projet en ces termes :

*nous devons envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule, les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle et l'avenir comme le passé serait à ses yeux.*¹³⁶

Cependant, l'incertitude qui persiste au niveau atomique a donné lieu à la notion de variable aléatoire pendant la mesure pour avoir la probabilité de localiser une particule microscopique. Il n'y a donc plus lieu de douter de la double réalité de la matière à l'échelle quantique qui est à la fois onde et particule. Toute tentative de prendre la mesure d'un phénomène se solde par une approximation à cause du bruit ou de la perturbation qu'entraîne la présence du sujet ou l'instrument de mesure. La connaissance que nous avons de l'objet mesuré est toujours entachée d'une certaine incertitude. À cet effet, Gaston Bachelard affirmait que « *l'objet mesuré n'est guère plus qu'un degré particulier d'approximation de la méthode de mesure* »¹³⁷.

Le développement de la physique, il faut le dire, a sonné le glas à l'exactitude en science. C'est dans cette perspective que Karl Popper avance la thèse de la *vérisimilarité*. Aucun système scientifique ne peut être décrit totalement. La physique atomique vient réparer les erreurs de la physique classique qui étaient érigées en modèle. Car, « *la description d'une particule élémentaire constituée d'un jeu de variables dynamiques requiert une dualité de représentation mutuellement contradictoire* »¹³⁸. Il se trouve que la connaissance des particules élémentaires relève d'une approximation à partir des variables statistiques. Ce n'est qu'à partir des statistiques de probabilités que nous pouvons supposer localiser la particule en un point quelconque de l'espace. Heisenberg à ce sujet explique que,

les lois de la théorie quantique doivent être de nature statistique. Voici un exemple :

¹³⁵ W. HEISENBERG, *La partie et le tout. Le monde de la physique atomique*, traduit par Paul Kessler Paris, Albin Michel, 1972, p. 234.

¹³⁶ P. S. LAPLACE(De), *Essai philosophique sur les probabilités*, Guther-Villars, 1921, p. 3.

¹³⁷ G. BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, J. Vrin, 1980, p. 213.

¹³⁸ R. N. PONDY, *op.cit.*, p. 161.

*nous savons qu'un atome de Radium peut émettre des rayons α , la théorie des quanta est capable d'indiquer, par unité de temps, le degré de probabilité pour la particule α , d'abandonner le noyau, mais elle ne peut prévoir le moment précis de cet événement, lequel est indéterminé par ce principe.*¹³⁹

C'est dire qu'aucun principe ne peut justifier les fondamentaux des lois de la théorie quantique. C'est d'ailleurs cette faillibilité des principes qui justifie l'incapacité du principe de superposition des états de la matière à parvenir à une solution qui répond favorablement à des aspirations d'Erwin Schrödinger. Face au principe de supposition, même le génie allemand, Albert Einstein, n'admettait pas l'état intriqué comme un état pouvant décrire le comportement de la matière. Or, la relation d'incertitude et la probabilité constituent des outils idoines pour comprendre au moins le comportement de la matière à l'échelle quantique. Comme on peut le savoir, il n'est pas possible de décrire, avec précision, à une date donnée, l'instant où l'on trouvera le chat vivant ou mort. À ce sujet, les frères Michel et Alexandre Gondran affirment que « *l'équation de Schrödinger est incomplète pour décrire un phénomène individuel et ne prédit que la statistique d'un ensemble de particules* »¹⁴⁰. Commettant cela, Albert Einstein écrivait : « *l'équation de Schrödinger dépendant du temps, ne peut avoir qu'une interprétation statistique et ne peut donc pas être utilisée pour décrire le comporte individuel d'un électron. Dans ce cas, ce n'est pas l'interprétation qui est fausse, c'est l'équation à laquelle on l'applique qui n'est pas bonne* »¹⁴¹.

Les limites de cette interprétation relèvent du fait d'avoir introduit la variable temps dans l'infiniment petit et de vouloir aussi concevoir les microparticules comme des éléments locaux. Nous devons rappeler qu'Erwin Schrödinger est héritier de la tradition déterministe au même titre qu'Albert Einstein. Pour décrire le mouvement des atomes, le fondateur de l'expérience des chats s'est appuyé sur les opérations mathématiques d'Isaac Newton. Gabriel Chardin rappelle à ce sujet que « *Schrödinger venait de construire l'équation [...] qui décrit le comportement des systèmes quantiques en s'inspirant sur des équations de la mécanique classique qu'avait bâti Newton* »¹⁴². Il se trouve qu'en voulant transposer les systèmes classiques finis aux éléments atomiques en mouvement permanent, le père de la mécanique ondulatoire courrait le risque d'appliquer les lois statiques aux particules élémentaires

¹³⁹ W. HEISENBERG, *La nature dans la physique contemporaine*, traduit par Ugné Karvelis, Paris, Gallimard, 1962, p. 48.

¹⁴⁰ M. GONDRAN et A. GONDRAN, *Mécanique quantique. Et si Einstein et de Broglie avaient aussi raison ?*, Paris, Matériologiques, 2014, p. 242.

¹⁴¹ *Ibid.*, p. 244.

¹⁴² *Ibid.*, p. 15.

dynamiques. Voilà pourquoi son projet visant à décrire le comportement des atomes comme éléments fixes n'avait pas connu une issue heureuse. Face à cette faiblesse des principes schrödingeriens ne faut-il pas reconsidérer la doctrine de Copenhague qui intègre une double réalité (onde-corpuscule) pour une meilleure saisie de la matière ?

3- Pour une reconsidération de la doctrine de Copenhague (onde-corpuscule)

C'est entre 1924 et 1930 que s'est bâti à Copenhague l'essentiel de la théorie quantique et de l'interprétation dite de Copenhague. Cette interprétation élaborée et structurée principalement par Niels Bohr tient une place de choix dans la compréhension de la physique contemporaine. Les autres pionniers de cette théorie étaient notamment Heisenberg, Pauli, Dirac et Kramers. Il fallait donc ajouter Born et Jordan qui, de Göttingen, ont apporté une pierre décisive à l'édifice de cette théorie dite de Copenhague. C'est la raison pour laquelle, très souvent on parle de « *l'interprétation de Copenhague-Göttingen* »¹⁴³. Cette interprétation est organisée autour des thèmes suivants : l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde ; les relations d'incertitude ; le principe de superposition et le problème de mesure coordonnés par le principe de complémentarité et une philosophie de l'expérience. Ces thèmes mettent en exergue le concept d'une réalité indépendante de toute observation.

Il faut le rappeler, l'école de Copenhague est régie par une philosophie centrée sur l'observation ou l'expérience comme unique base. Pour Schrödinger, la fonction d'onde est véritablement celle qui décrit la réalité, déterminant à tout instant « t » la position géographique d'un électron. Il s'agit donc d'un phénomène déterministe pour comprendre la matière. Initialement, Schrödinger pensait que, « *toutes les particules de l'univers nous apparaissent comme ponctuelles seulement parce que nous les observons à une échelle trop grande ; en réalité, elles seraient de minuscules « paquets d'onde localisés dans de petites régions de l'espace* »¹⁴⁴. Cependant, les expériences ont montré plus tard qu'une théorie purement ondulatoire présente de sérieuses difficultés. Lesquelles difficultés n'ont pas permis aux physiciens de continuer dans cette voie. Le premier exemple de difficulté est fourni par une collision entre particules où l'onde de Schrödinger diffuse dans toutes les directions. Mais, on observe dans toutes les expériences de collision que les particules suivent après collision des trajectoires bien définies, avec une direction de propagation relativement bien définie. Cette

¹⁴³ J. P. YMELE, « *Le débat Bohr-Einstein et le problème de la réalité en physique contemporaine* », mémoire soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de Maîtrise en philosophie à l'Université de Yaoundé 1, sous la direction de Joseph Ngoué, 1993, p. 41.

¹⁴⁴ F. LALOË, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique ?* Paris, EDP Science/CNRS Editions, 2^e Editions, révisée et augmentée, 2017, p. 5.

constatation a poussé Born en 1926 à proposer une interprétation probabiliste de fonction d'onde. Les processus quantiques comme les collisions sont fondamentalement non déterministes. Ainsi, « *la seule prédiction qui puisse être calculée est un ensemble de probabilités, données par le carré du module de la fonction d'onde* »¹⁴⁵.

À partir de ce postulat, une seconde difficulté apparaît dès qu'on considère des systèmes composés de plus d'une seule particule. On se rend alors compte que l'onde du prix Nobel de physique (1933) n'est plus une « onde ordinaire » puisqu'

*au lieu de se propager dans l'espace ordinaire à trois dimensions, elle se propage dans un espace dit « espace des configurations », dont la dimension est $3N$ pour un système composé de n particule. Déjà, pour le plus simple des atomes, l'atome d'hydrogène, l'onde se propage à six dimensions. Pour un ensemble d'atomes, la dimension de l'espace des configurations croît rapidement et devient un nombre astronomique pour l'ensemble des atomes d'un échantillon macroscopique. Chacun s'est alors rendu que la nouvelle onde n'était en rien semblable à une onde classique qui, elle, se propage dans l'espace ordinaire*¹⁴⁶.

De plus, lorsque les atomes sont totalement condensés dans une fonction d'onde unique à une seule particule, la fonction d'onde est plurielle et devient beaucoup simple parce que construite à partir d'une seule fonction d'onde à une particule. De fait, la description purement ondulatoire des particules de la forme standard de la mécanique quantique ne peut pas totalement donner la nature de la matière.

En plus, Born et Bohr, Heisenberg et Jordan, Dirac et d'autre ont joué un rôle capital dans l'apparition d'une nouvelle formulation de la mécanique quantique, où des notions probabilistes et ondulatoires font édifice d'une logique complexe. La composante probabiliste est que, lorsqu'un système subi une mesure, le résultat de cette mesure est en général fondamentalement aléatoire. C'est dire que la théorie ne fournit que les probabilités des différents résultats possibles. En effet, la fonction d'onde schrodingerienne n'est plus considérée comme une description physique directe du système lui-même ; ce n'est qu'outil mathématique qui fournit les probabilités des différents résultats possibles¹⁴⁷.

Le projet de l'école de Copenhague qui fut complété autour 1927, année de la conférence de Solvay a d'abord été l'application de la mécanique quantique des champs. Il était donc question seulement du champ électromagnétique associé aux photons. Mais plus tard, ce champ

¹⁴⁵ *Ibid.*, p. 106.

¹⁴⁶ *Ibid.*, p. 9.

¹⁴⁷ Ceci est notre explication. Dans la littérature, on trouve souvent le mot « ontologique » pour décrire le point de vue initial de Schrödinger sur la fonction d'onde, par opposition avec « épistémologique qui s'applique à l'interprétation probabiliste de la matière.

électromagnétique devrait être associé à de nombreuses particules. Notamment les électrons, les muons et quarks. La théorie des champs quantique s'est énormément développée pour devenir l'outil de base de la physique des particules dans un cadre relativiste. Commentant Lorentz, Laloë écrit : « l'équation de Schrödinger elle-même ne satisfait l'invariance de Lorentz »¹⁴⁸.

À Copenhague, les savants rejetaient totalement l'idée de l'existence d'une réalité extérieure au sujet connaissant. De leur avis, l'expérience était le seul moyen pour décrire la réalité. C'est alors que Bohr et ses épigones affirmaient que la matière est indivisible. Cela, est valable tant au niveau macroscopique qu'au niveau microscopique. Ils démontraient déjà que sur le plan macroscopique, le comportement du pendule de Foucault montrait cette corrélation qui existait entre les éléments du cosmos. Écoutons Trin Xuan Thuan :

*le pendule de Foucault oscille en ignorant superbement son environnement local, faisant fi de la terre, du soleil du groupe local et du superamas local. Il ajuste son comportement en fonction des galaxies lointaines, ou, puisque la totalité de la masse visible de l'univers se trouve dans les galaxies, de l'univers tout entier*¹⁴⁹.

Il nous semble que les travaux de Newton et même de Schrödinger n'avaient pas envisagé cet état des choses. Le pendule de Foucault nous avait permis de comprendre qu'au niveau macroscopique, le monde est interconnecté. La matière a une existence fantomatique car, certains comportements sont au-dessus des lois disponibles comme la force, le mouvement ou l'énergie.

Sur le plan microscopique aussi, tout est indivisible, nous l'avons déjà évoqué avec l'expérience EPR. C'est donc dire que cette fameuse expérience de pensée de microparticules intriquées, est finalement devenue un paradoxe. Car, Einstein et ses assistants ont fait confiance à l'intuition. Mais, les applications expérimentales de John Bell et Alain Aspect plus tard, ont confirmé que la matière est véritablement indivisible. Les dispositions classiques de la mécanique avaient juste considéré l'espace physique visible comme un espace fini à l'intérieur duquel les phénomènes physiques se limitaient nécessairement à ce qui peut avoir une influence sur nous. À ce niveau, l'observateur, comme nous l'avons souligné, devait se considérer comme absent. L'interprétation de Copenhague-Göttingen donnait des orientations pour la nouvelle mécanique, une méthode pour comprendre et interpréter le réel qui est non séparable. Le pendule de Foucault et l'argument EPR nous ont contraint à dépasser nos notions habituelles de l'espace et du temps. Cela fait dire à l'auteur du *cosmos et le Lotus* ce qui suit : « avec

¹⁴⁸ *Ibid.*, p. 10.

¹⁴⁹ T. X. THUAN, *Les mélodies secrètes. Et l'homme créa l'univers*, Paris, Fayard, 1988, p. 338.

*l'avènement de la mécanique quantique au début du XXe siècle, un vent de liberté souffla aussi sur le monde des atomes. Et à l'ennuyeuse certitude déterministe se substitua la stimulante certitude du flou quantique »*¹⁵⁰.

Les savants de l'école de Copenhague ont trouvé la nécessité de placer l'homme au cœur de la connaissance scientifique. À partir de là, la pensée de Protagoras d'après laquelle l'homme est la mesure de toute chose demeure d'actualité. La réalité n'est pas déjà toute faite. C'est l'être humain qui la crée. Malgré les difficultés que l'homme éprouve à déceler la véritable nature de la matière, il doit tout de même s'appuyer sur l'expérience, avoir la maîtrise du réel. Cette volonté remonte depuis Eudoxe qui pensait en son temps que « *la raison pure elle seule n'était plus suffisante pour cerner la réalité* »¹⁵¹. Cette mise en exergue de la connaissance scientifique n'avait pas empêché Erwin Schrödinger a fait confiance à l'intuition. Mais, l'ouverture qu'ouvrait la mécanique quantique montrait que la réalité est indivisible et abstraite, ce qui a permis la connexion du monde en un seul village. Cette évolution a donné l'opportunité de faire sien les propos d'André Malraux pour qui : « *la science du XXe sera spirituelle ou ne sera pas* »¹⁵².

Les grandeurs physiques macroscopiques d'un système physique étudié sont déterminées à chaque instant à partir de la connaissance de l'état initiale, d'où le déterminisme de la physique classique. Les résultats à ce niveau concernaient la position et la vitesse d'un corps s'il est en mouvement, ou, s'il est au repos. Selon l'école de Copenhague, le réel est indivisible. La fonction d'onde ou le vecteur d'état détermine de façon unique et complète l'état du système quantique étudié. Sa connaissance ne nous permet que d'attribuer une distribution de probabilité ou valeur que peut prendre une grandeur physique lors de la mesure. C'est cela qui confère l'indéterminisme à la mécanique quantique. Au regard de ces transformations observées autour de la matière, on peut dire que les éléments quantiques à l'instar des atomes, des électrons et des protons, sont des particules virtuelles et ne peuvent être vues directement par l'homme ordinaire. Cela ne laisse pas croire que la physique est tombée dans un délire total. En revanche, à partir d'un dispositif expérimental, la présence des atomes, électrons et protons peut être déduite de façon indirecte. Nous pouvons alors croire que les scientifiques de l'école de Copenhague ont fait un travail considérable pour donner un autre aspect visible de la matière. Malgré des réserves formulées au déterminisme, Einstein et Schrödinger militaient toujours sur l'existence d'une réalité indépendante du sujet connaissant. Pour illustrer cette contrepartie,

¹⁵⁰ *Id.*, *Le cosmos et le lotus*, Paris, Albert Michel, 2011, p. 182.

¹⁵¹ *Ibid.*, p. 183.

¹⁵² *Ibid.*, p. 184.

Bohr emprunte l'image de l'aveugle et sa canne. « *Le monde commence-t-il au bout de la canne de l'aveugle ? Non, dit Bohr, c'est grâce au bout de sa canne que le toucher de l'aveugle appréhende le monde et l'un et l'autre sont inextricablement liés* »¹⁵³.

C'est en septembre 1927 que Niels Bohr présente à la communauté scientifique sa thèse de la complémentarité en physique quantique. Elle stipule que les natures ondulatoire et corpusculaire des particules élémentaires sont complémentaires. À partir de là, il est impossible d'avoir en même temps, comme ce fut le cas en physique classique, la description causale et la description spatiotemporelle d'un phénomène quantique. Mais, les savants de l'école de Copenhague convenaient que la relation d'indétermination découle du principe de complémentarité. « *L'interprétation de Copenhague-Göttingen deviendra alors l'interprétation standard de la physique quantique* »¹⁵⁴.

En observant la démarche de l'école de Copenhague, nous sommes en droit de la taxer d'expérimentaliste dans la mesure où elle s'entoure de précaution avant de se prononcer sur la nature de la réalité. De fait, les connaissances sont fondées sur les faits, c'est-à-dire sur l'expérience des phénomènes de la nature pour lequel la métaphysique classique ne pouvait prononcer qu'un discours spéculatif. Mais dans le contexte quantique, la nature de la métaphysique contemporaine donne lieu d'avoir une connaissance des réalités virtuelles de façon expérimentale. À ce niveau, la métaphysique moderne offre l'opportunité de connaître quantitativement certains phénomènes abstraits et de les décrire objectivement. C'est ce que Bernard d'Espagnat qualifie d'« objectivité au sens ferme ». Bohr a ainsi remis en question, avec sa philosophie de la complémentarité, pratiquement toutes les bases sur lesquelles reposait la physique classique. En dehors du mot complémentarité, comme le remarque Lewis Feuer, aucun autre mot n'apparaît aussi régulièrement dans les écrits de Bohr que le mot renonciation. De son avis, il faut renoncer à la causalité, qu'il identifie au déterminisme ; le faire, c'est tenir compte de la prise en charge à la fois de la masse et de la position.

¹⁵³ M. KOUMAR, *Le grand roman de la physique quantique : Einstein, Bohr et la débat sur la nature de la réalité*, trad., Bernard Sigaud, Paris, Jean-Claude Lattès, 2011, p. 380.

¹⁵⁴ R. N. PONDY, *op.it.*, p. 147.

CHAPITRE V : DE L'INCONGRUITE DE LA NON PRISE EN CHARGE DE LA MASSE ET LA POSITION

Dans ce chapitre, il est question de s'interroger sur les incidences de la non prise en charge de la masse et de la position de la matière dans la physique d'Erwin Schrödinger. La question que nous-nous posons est celle de savoir si nous pouvons avoir une connaissance approfondie de la matière en explorant uniquement sa dimension énergétique ? Il s'agit de se demander si la rupture de la relation d'identité entre la masse et l'énergie ne nous conduit pas à la construction d'une connaissance vertigineuse.

1- La position : un facteur déterminant des phénomènes subatomiques

Nous avons vu qu'en 1924, Louis De Broglie a étendu la réalité dualiste onde-corpuscule de la lumière à la matière. En effet, il avait attribué à chaque particule de matière E et d'impulsion P une onde plane $\Psi(r, t) = C \exp(-i(\omega t - kr))$ où r doit représenter la position de la particule dans l'espace et t, le temps. Cela étant respectivement la fréquence et, la longueur de ladite onde. En réalité, « *la particule n'est pas associée à une onde plane monochromatique, mais à un paquet d'ondes qui est une superposition linéaire d'ondes planes : impossible de la localiser dans l'espace* »¹⁵⁵. Or, les relations d'incertitudes se situent en droite ligne de l'interprétation probabiliste, car elles révèlent les limites du déterminisme.

Dans sa virtualité, la matière mène une existence double. C'est à dire elle peut être présente à plusieurs endroits à la fois. Cette pluralité de faces empêche la parfaite maîtrise de la position de l'atome. C'est ce qu'il convient de nommer existence fantomatique. Cette existence n'est pas observable à l'échelle macroscopique. Pourtant, elle modifie le réel potentiel. Car elle se produit à l'échelle microscopique. Comme on peut le constater, la matière à l'échelle virtuelle ou fantomatique émet une énergie qui est susceptible d'impacter la position de la matière réelle. Seulement, cette action est caractérisée par le concept de « flou quantique ». C'est donc ce phénomène qui empêche de connaître avec plus de précision la position, mieux l'énergie que peut dégager une matière. Or, pour mesurer l'énergie d'une matière, il faut tenir compte de sa durée de vie.

Lorsque la matière est en mouvement, son énergie est probabiliste, dont incertaine. En effet, lorsqu'elle est au repos, on peut alors mesurer son énergie avec précision surtout quand

¹⁵⁵ M. PATY, « Symétrie et groupes de transformation dans les théories contemporaines de la matière : Jalons épistémologiques », *colloque Abel-Galois, Lille, 21-25 février 1983, 1ère partie, Institut de recherches de mathématiques avancées(IRMA), Lille, 1985, p. 54.*

on connaît la durée de sa vie. Dans l'univers classique par exemple, la matière obéissait à un principe de conservation qui stipulait que « rien n'est gratuit dans la vie, tout se paie. On n'a rien sans rien ». Dans l'univers subatomique, le flou du principe d'incertitude transgresse avec impunité cette loi de conservation d'énergie. Dans le monde quantique (atomique et subatomique), « *la nature peut prêter de l'énergie gratuitement, sans rien demander en retour, et cette énergie peut engendrer à son tour des particules élémentaires possédant une certaine masse* »¹⁵⁶. Encore faut-il rappeler que dans l'équivalence de la masse et de l'énergie, Einstein précisait déjà que la masse de la particule élémentaire est égale à son énergie divisée par le carré de la vitesse de la lumière : $M = E/c^2$

Ce rappel n'est pas sans utilité. En fait, lors du transfert d'énergie, les particules atomiques donnent la vie aux particules virtuelles. Nonobstant, la durée de vie de ces particules dans l'univers macroscopique est comparable à un élément de fraction de seconde. C'est la raison pour laquelle, dès lors qu'elles apparaissent à nos instruments, elles disparaissent aussitôt sans nous laisser la possibilité les localiser avec précision. Leur position est donc non connaissable au même moment que leur vitesse. Pour qu'elles quittent le monde virtuel pour émerger durablement dans le monde réel, il leur faut une énergie supérieure à 10^{22} de secondes. Le problème est que la nature ne permet pas de prêter une telle quantité d'énergie, surtout à une longue durée de vie.

Scientifiquement, ce qui nous empêche de localiser la position de la matière, contrairement à ce que pense Schrödinger, c'est la nature originelle de la charge électrique de l'espace. Comme on peut le constater, avant l'apparition de toute matière, la charge électrique de l'espace est nulle. Pour conserver la nature originelle de l'espace, la matière fait l'impasse auprès de la charge électrique. Cela s'explique par le respect de la loi de conservation. En fait, lorsque la matière prête gratuitement de l'énergie à la matière virtuelle, elle le fait également à l'antimatière. Par exemple, « *la création d'un électron virtuel de charge négative doit s'accompagner nécessairement de celle d'un antiélectron(ou position) virtuel de même masse, mais de charge opposée* »¹⁵⁷.

De manière légendaire, on peut finalement dire que notre univers est peuplé d'un nombre inimaginable de particules et d'antiparticules fantômes qui apparaissent et disparaissent au gré de cycles de vie et de mort courts. Trinh Xuan Thuan a donc raison de dire que notre espace de vie « *n'est jamais totalement inerte ni lisse, mais perpétuellement mouvant et*

¹⁵⁶ T. X. THUAN, *La plénitude du vide*, Paris, Albin Michel, 2016, p. 170.

¹⁵⁷ *Ibid.*, p. 172.

fluctuant. »¹⁵⁸ Face à cela, l'on peut être curieux de savoir pourquoi nous ne nous heurtons pas à ces particules.

Heureusement, l'astrophysicien a pris de l'avance en précisant que les activités des particules virtuelles et leurs antinomies se déroulent à des échelles incommensurablement petites. Dans une statistique probabiliste, il précise qu' « à un instant donné, un volume d'un centimètre cube peut contenir jusqu'à mille milliards de milliards (10^{50}) d'électrons et d'antiélectrons virtuels »¹⁵⁹. Il faut donc préciser qu'à l'échelle de l'infiniment petit, notre perception et notre ressenti sont faibles. Cependant, si cette faillibilité est traditionnellement reconnue, l'imagination des théories alambiquées à l'instar de la théorie des particules fantômes pour expliquer le réel ne donne pas la possibilité de saisir la position de la matière. Dès lors, l'imagination d'une telle théorie impose-t-elle au physicien de renoncer à la vérification expérimentale, base de la méthode scientifique ?

Nous répondons par la négative. Négative parce que, même si les particules fantômes ne sont pas observables par nos instruments, il faut tout de même reconnaître que les effets indirects qu'elles exercent sur la matière à l'échelle macroscopique sont détectables. Ainsi, les particules virtuelles impactent non pas une particule réelle, mais plusieurs. La particule virtuelle joue parfois le rôle d'une messagère qui sert de transmission des forces d'une particule réelle à une autre. En le faisant, elle leurs permettent d'interagir avec leur environnement. L'exemple que l'astrophysicien prend pour expliquer cela est que, « c'est grâce à des échanges de photons virtuels, porteurs de la force électromagnétique, que deux électrons ressentent la force électromagnétique qui les repousse l'un et l'autre. »¹⁶⁰ Concrètement, si on applique cette expérience aux astres qui peuplent notre univers, on dirait que ce sont les particules virtuelles (ayant l'image de l'onde ici), qui, empêchent à certains astres d'entrer en collision. À travers la théorie de Hubble, nous savons que certains astres voyagent plus rapidement que d'autres, en fonction de leur position.

Comme on peut le constater, l'imagination de la théorie des particules fantômes invite le scientifique à empiéter la voie d'une intelligence ouverte. Pour expérimenter le rôle de ces particules de manière factuelle, nous reprenons l'expérience sur les corps. L'homme par exemple, tout comme les autres matières qui l'entourent, n'est que corps. En ce sens, il est composé des éléments atomiques que sont les protons, les neutrons et les électrons. D'après les connaissances enregistrées en chimie à partir de 1927, on sait que les protons et les neutrons

¹⁵⁸ *Id.*

¹⁵⁹ *Ibid.*, p. 173.

¹⁶⁰ *Ibid.*, pp. 173-174.

sont constitués d'entités beaucoup plus élémentaires appelées « quarks ». D'après l'une des maximes de la théorie des particules élémentaires, « les particules virtuelles sont présentes en nombre dans le proton (ou neutron), et ce sont elles qui agissent comme messagères, transmettent la force nucléaire dite « forte » d'un quark à l'autre, et les lient ensemble. » Cette maxime peut expliquer chez les humains la notion de télépathie. De fait, c'est sans doute par le canal de proton que la situation d'un fils en danger se révèle à sa mère. En effet, lors de l'accouchement, le quark de la mère se dédouble et se compense. La mère, considérée ici comme la particule d'origine, transfère une charge électromagnétique à son enfant. Par les principes de compensation, on peut en déduire que, « *lorsque la charge magnétique de la partie (l'enfant) est impactée par des forces négatives, la particule d'origine (la mère) ressent une charge négative par liaison électromagnétique.* »¹⁶¹

S'agissant des phénomènes, on dénombre quatre forces qui lient les phénomènes entre eux dans la nature. Nous faisons allusion aux forces électromagnétiques, des forces nucléaires fortes, des forces nucléaires faibles et des forces de gravité. Pour les trois premières, les particules virtuelles jouent pleinement le rôle des messagères. Cependant, son rapport avec la quatrième force (force de gravité) reste encore non maîtrisable par le physicien contemporain. Nous utilisons cette métaphore pour dire que, malgré les efforts acharnés des physiciens, particulièrement Schrödinger, la théorie quantique qui établirait à grande échelle la communication entre le monde macroscopique et celui microscopique demeure inerte. À partir de là, une question s'impose : peut-on connaître à la fois la position et le mouvement d'une particule élémentaire ?

D'après le principe d'incertitude, formulé en 1926 par Heisenberg, la nature du monde quantique ne nous permet pas de connaître avec exactitude à la fois le mouvement et la position d'une particule. Cette impossibilité, étant la conséquence du « *flou quantique* »¹⁶² impose une nécessité de l'analyse des capacités énergétiques de la matière. Cette analyse en effet, consiste à savoir si la matière¹⁶³ est pleine ou vide. De manière antagoniste, cette question est résolue dans l'histoire des sciences. Ainsi, si chez Schrödinger, la matière (il s'agit d'une définition à « *objectivité forte* »¹⁶⁴) est ce qui meuble l'espace, elle est pleine par conséquent ailleurs. Dans sa plénitude, la matière ne dégage aucune énergie visible. Elle peut être vidée de l'espace par

¹⁶¹ M. M. NGOUWOUO, *op.cit.*, p. 261.

¹⁶² T. X. THUAN, *Le cosmos et le lotus*, Paris, Albin Michel, 2011, p. 183.

¹⁶³ Ici, le concept de matière est pris dans tous ses sens. Il peut être appelé fait, potentiel, axiome, réel ou phénomène.

¹⁶⁴ F. MONNOYEUR, *Qu'est-ce que la matière ? Regards scientifiques et philosophiques*, Librairie générale française, Paris, Seuil, 2000, p. 8.

exemple. Nonobstant, sa disparition créera tout simplement un vide. Cette vision est amplifiée dans l'histoire par James Maxwell, l'unificateur de l'électricité, magnétisme et de l'optique lorsqu'il définit le vide comme « *ce qui reste après que nous avons éliminé tout ce qui peut être enlevé dans un contenant.* »¹⁶⁵

À partir de là, la physique quantique nous fait comprendre que les électrons ne tiennent pas compte du temps artificiel des scientifiques, encore moins de l'espace duquel ils font justement le temps. Un électron se joue du temps et de l'espace : il est à la fois ici et là-bas, partout et précisément nulle part. Dans cette logique, pour expliquer la non-séparabilité du monde quantique, et partant de la causalité non perceptible au cœur du réel, Beauregard a formulé une hypothèse de la retrocausalité. Il y'aurait une causalité globale, une sorte de lien mystérieux, selon le vœu de Schrödinger qui relie les particules, les réalités du monde quantique, du réel proche et celui lointain. Concrètement,

*Cela signifie que lorsqu'une des particules est mesurée à son point d'arrivée, elle va envoyer un message qui remonte le temps jusqu'au moment où les deux particules étaient ensemble, pour informer sa sœur de la mesure qu'elle a subie. (...) Les particules envoient un message dans le passé pour prévenir l'autre, avant leur séparation de la mesure qu'elles subiront dans le futur.*¹⁶⁶

Fort de cela, on peut finalement observer dans le monde quantique, l'impossibilité de saisir la position et la vitesse d'une particule. Dans le réel, il y'aurait par conséquent une causalité mécanique ou énergétique dans le monde matériel, et la causalité informationnelle dans l'intimité. Une théorie globale pour expliquer le lien du réel, donc, la possibilité des phénomènes qui échappe à la réalité matérielle. Devant son maître De Broglie, Beauregard s'exclamait ainsi : « *Ma théorie explique la télépathie, la parapsychologie et les rêves prémonitoires !* »¹⁶⁷. Ce qui signifie que la causalité par l'information atemporelle peut, au niveau quantique permettre de comprendre les phénomènes qui mobilisent une activité non matérielle. Une telle réalité est davantage corroborée par la non-localité ou la non-séparabilité qui règne à l'échelle quantique. À ce niveau, l'auteur de *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie*, n'a pas totalement clarifié la position double de la matière. Sans doute parce qu'il restait généralement attaché à la continuité de la matière qu'il exprimait en ces mots,

¹⁶⁵ J. MAXWELL, cité par A. OUM MAO, « *Les incidences épistémologiques de la théorie du réel voilé de B. D'ESPAGNAT : Plaidoyer pour une science ouverte* », mémoire soutenu à Yaoundé I, sous la direction de I.S. MOUCHILI NJIMOM, Octobre 2020, p. 112.

¹⁶⁶ C. BEAUREGARD (de), cité par A. ASPECT, in « *Physique quantique et réalité* », *Documentaire (en ligne)*, mis en ligne le 24 mai 2019, consulté le 12 février 2023.

¹⁶⁷ *Id.*

Pour le cas de la lumière, je suppose qu'on sait communément que la lumière est le plus souvent produite par des électrons, et en particulier par ceux qui sont dans les atomes, dans lesquels ils s'agitent autour du noyau. Un électron n'est ni rouge, ni bleu, ni d'aucune autre couleur ; la même chose vaut pour le proton, le noyau de l'atome d'hydrogène. Mais l'union des deux dans l'atome d'hydrogène produit, selon le physicien des rayonnements électromagnétiques selon un certain ensemble discret de longueurs d'onde. Lorsqu'ils sont séparés par un prisme ou un réseau optique, les constituants homogènes de ce rayonnement provoquent chez l'observateur les sensations de rouge, de vert, de bleu et de violet, par l'intermédiaire de certains processus physiologiques dont le caractère est suffisamment continu, dont déterminé à être comme tel.¹⁶⁸

Cependant, tel n'est pas le cas lorsqu'on pénètre l'intimité du réel. Dans le monde quantique en effet, tout est en état superposé. Les éléments de la réalité sont dans un état double, soit actif et non, suivant la dualité onde-corpuscule. En s'appuyant sur les expérimentations effectuées à l'échelle quantique, Bernard d'Espagnat suggère que le principe de séparabilité n'est valable que dans le cadre du réalisme mathématique dont il proclame la nécessité de son abandon, et ceci en vertu de l'absence de la circonscription de la réalité quantique dans les réalités de la célérité de la lumière. « Ceci signifie (...) soit certains systèmes actuellement éloignés les uns des autres, dans tel ou tel cas être considérés comme constituant un seul système, soit qu'entre des systèmes éloignés existent des influences plus rapides que la lumière. »¹⁶⁹

La mise en évidence de la non-séparabilité des réalités quantiques montre que les causes profondes des événements que nous vivons dans notre monde sont non-localisables. Si cette non-localité quantique ne signifie pas qu'il faut nécessairement recourir à une vision magique du monde, elle justifie tout de même la réalité d'un monde matériel qui n'est pas encore clôt sur lui-même. En ce sens, nous pouvons vivre un effet sans que la cause qui l'induit se trouve dans notre niveau de réalité matérielle. La physique quantique « brise la clôture du monde matériel puisque, sans recourir à la magie, la non-localité fait appel à un au-delà du temps et de l'espace pour être expliquée, alors que ces phénomènes ont des conséquences vérifiables dans notre niveau de réalité »¹⁷⁰. Le prix Nobel 1933 n'a pas intégré l'idée selon laquelle la position est un facteur déterminant des phénomènes subatomiques. En claire, la limite entre le monde quantique (monde de l'état double, superposé) et le nôtre (monde matériel, de localité) existe donc bel et bien, mais la causalité globale nous permet de postuler un lien qui les unit,

¹⁶⁸ E. SCHRODINGER, *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie (1986)*, traduit de l'anglais par Léon KEFFLER, collection « Epistémè », Paris, Seuil, 1991, p. 174.

¹⁶⁹ B. ESPAGNAT (d'), *Le réel voilé*, Paris, Fayard, 1994, p. 96.

¹⁷⁰ *Ibid.*, p. 98.

sans que l'on puisse savoir comment.

Finalement, à partir de 1926, la conception de la matière pleine rencontrera une objection farouche. Elle sera rejetée par quelques physiciens. De fait, dans le monde de l'infiniment petit, la matière n'est pas continue, c'est-à-dire pleine, mais discontinue. Dans sa discontinuité, elle se présente comme une force. Mais, en fonction de sa masse, elle dégage une énergie et ceci en fonction de l'accélération : « $E = Mc^2$ »¹⁷¹. De façon déductive, on peut constater que la masse d'un corps est fonction de son énergie : $M = E/c^2$. Michel Le Bellac faisait déjà cette déduction lorsqu'il affirmait que, « *dans la composition de l'atome en noyau et électron, un concept important est celui de l'énergie de liaison* »¹⁷². Il s'agit d'une énergie qui produit la désintégration de la matière, sa connexion et son attraction vers une autre fonction de sa masse. Que ce soit dans la physique classique ou moderne, cette réaction de désintégration est observable. Contrairement à ce que pensait Schrödinger, la masse est un principe qui caractérise la matière, et non une conséquence. De fait, le mouvement ne signifie pas absence de position. Cependant, pouvons-nous réduire la mécanique quantique à l'abstraction énergétique ?

2- Peut-on réduire la mécanique quantique à l'abstraction énergétique ?

Les progrès observés dans l'interprétation de la réalité atomique invitent au changement de nos représentations sur la matière, sur le monde. Les principes de la non-localité et non-séparabilité ont permis de comprendre que toutes les composantes de la nature sont corrélées. Ainsi, l'intuition est une instance que l'homme utilise sans forcément avoir recours à un support matériel pour fonder sa pensée sur un phénomène de la nature. Cette conception des choses est défendue par l'école idéaliste. En effet, par idéalisme, nous entendons un courant philosophique qui justifie que l'univers n'est pas le produit d'un fait matériel. Pour Daniel Martin, la philosophie idéaliste « *postule l'existence d'une réalité immatérielle, non perceptible par les sens de l'homme et ses instruments de mesure. Cette réalité immatérielle est décrite par les concepts d'idée.* »¹⁷³.

Historiquement, le problème de l'expérience de pensée semble nous rapprocher de plus en plus de l'hypothèse de l'existence des choses dans le monde des idées platoniciennes. En décrivant l'univers intelligible, Platon affirmait dans *Timée* que « *les constellations visibles sont*

¹⁷¹ D. BODANIS, *E=mc². La biographie de la plus célèbre équation du monde*, Paris, Plon, 2000, p.19.

¹⁷² *Ibid.*, p. 5.

¹⁷³ D. MARTIN, « Le déterminisme étendu pour mieux comprendre et prévoir. Une contribution à la pensée rationnelle entre science et philosophie », [www. Daniemartin.eu/contact.htm](http://www.Daniemartin.eu/contact.htm), 2016, p.45.

bien inférieures aux constellations invisibles qu'il faut partir pour connaître les autres. »¹⁷⁴
Pour le disciple de Socrate, la création de l'esprit est supérieure à ce que notre esprit reçoit à partir de l'expérience. Or, il s'agit d'une hypothèse que nous avons réfutée au chapitre IV de notre travail. Afin de lever tout le doute, nous précisons que l'idée de création des phénomènes par expérience, est pleinement polémique. Polémique parce que l'on a toujours un schéma qu'on pourrait qualifier de dualiste. Par ce dualisme, le phénomène ne peut être que deux choses. Soit il est déjà présent dans l'objet et ne fait que se montrer au sujet, soit c'est le sujet qui le crée, mais comme une sorte d'imagination. L'accès de notre esprit dans la sphère platonicienne constitue « *l'une des différences essentielles existant entre l'être humain et la machine* »¹⁷⁵ ; Faut-il préciser qu'en science, l'imagination n'est pas un délit de l'esprit, mais un atout aussi.

Nous parlons d'un atout parce que l'homme a le pouvoir de créer les phénomènes par expérience de pensée. Contrairement à Platon, cette création n'a pas de contenu fantasmagorique qui serait que le sujet lui-même imagine, et invente le phénomène. Ce qui serait évidemment faux si l'on s'enfermait dans la logique mécanique. Sans phénomène, on fera plus d'expériences dans les laboratoires. Néanmoins, il faut reconnaître que le sujet a le pouvoir de fabriquer les invariants. Mais, ces invariants sont seulement « *des projections* »¹⁷⁶ de ce qui existe. Comme on peut le constater, le sujet affronte le réel avec ses projets. Lesquels sont déjà incarnés dans les instruments expérimentaux et en suite, à partir de là, il tente alors d'extraire des invariants de l'ensemble des expériences qu'il effectue. Ces invariants, il les formalise tout en les faisant réagir par les équations d'évolution.

L'invariant majeur en physique classique, c'est le fameux vecteur d'état qui ne nous donne au fond qu'une prédiction probabiliste. Or, *la probabilité*¹⁷⁷ semble sevrer le chercheur de son espoir de connaître. Seulement, tant par curiosité scientifique que par nécessité épistémologique et sociale, il est important pour l'homme non pas d'abandonner son espoir d'explorer l'intimité du chaos, mais de s'adapter à la nouvelle approche du réel. Ici, les expériences de pensée deviennent utiles. Elles facilitent ainsi l'étude des phénomènes extrêmement petits sans pour autant les manipuler. Seulement, cette approche du réel n'est pas sans risques. En étudiant le réel par une expérience de pensée, l'on doit prendre conscience du

¹⁷⁴ PLATON, (vers 358), *Timée*, traduit par Emile Chambry, Paris, Classiques Garnier 2017, p. 35.

¹⁷⁵ R. PENROSE, *Les ombres de l'esprit*, Paris, Inter Éditions, 1995, p. 46.

¹⁷⁶ B. ESPAGNAT (d'), *L'atome de sagesse*, Paris, Seuil, 1982, p. 115.

¹⁷⁷ L'intégration de la probabilité au cœur de la physique n'a pas été le souhait de tous les physiciens. Si jamais il fallait faire recours au « consensus » pour l'intégrer, le pourcentage de son rejet serait supérieur à la classe qui y voit plutôt l'espoir de la science. Il faut dire que la probabilité s'est imposée par la force de preuve.

fait que la crédibilité des conclusions en sera largement affaiblie. Cette conclusion peut être teintée d'incertitudes et de rumeurs. D'où la nécessité d'une prudence.

Contrairement à Carl Vogt qui estime que « *le cerveau ne produit pas la pensée comme le foie produit la bile* »¹⁷⁸, les neurosciences montrent que le cerveau a la capacité de fonctionner à une vitesse sensiblement supérieure à celle de la lumière. Aujourd'hui, la science est chargée de propriétés cosmiques très énigmatiques mais attirant notre curiosité. Loin des principes de causalité qui montrent que « *les choses sont ce qu'elles sont parce qu'elles étaient ce qu'elles étaient* »¹⁷⁹, des propriétés cosmologiques nouvelles ont pour dessein de nous permettre de savoir « pourquoi les choses étaient ce qu'elles étaient ». Au-delà de l'expérience de pensée produite par Einstein sur la résolution des équations de la relativité, celle produite par Bohr sur les preuves de la mécanique quantique, nous nous attardons sur l'expérience de pensée de Schrödinger sur le paradoxe du chat mort et vivant. Il ne s'agit pas d'un choix hasardeux. C'est que, comme Einstein, le prix Nobel 1933 accorde plus de crédit à la notion d'énergie qu'à celle de mouvement.

Ce regard nouveau porté sur la qualité des phénomènes physiques a pris aussi un autre tournant avec les travaux de Albert Einstein sur la relativité. Il a pu, grâce à cette théorie, établir une relation d'égalité entre la matière et l'énergie. Héritier de la physique classique à tendance déterministe, sa remarque porte sur le corps au repos et en mouvement. Il démontre à partir de là qu'un corps de masse quelconque, soumis à une vitesse constante, perd de l'énergie due à l'émission d'un rayonnement, au moment perd également de la masse. L'auteur de *Comment je vois le monde ?* arrive à la conclusion selon laquelle, si un corps en mouvement perd de l'énergie sous forme de rayonnement, sa masse diminue systématiquement. Il y a dans cette découverte une relation entre l'énergie, le rayonnement, la masse d'un corps et la qualité de mouvement. Puisque, « *La loi fondamentale de conservation de l'énergie stipule que pour un système isolé, l'énergie totale est conservée, même si dans un mouvement elle change de forme* »¹⁸⁰. C'est donc dire qu'on peut obtenir une force à partir d'une énergie : on dit d'une force qu'elle dérive d'un potentiel s'il existe une énergie.

Historiquement, c'est pour les besoins de la thermodynamique que l'énergie a été élaborée. Aussitôt a été introduite une différenciation dans la qualité de l'énergie : « *la perte*

¹⁷⁸ J. F. KAHN, *Où va-t-on ? Comment on y va... Théorie du changement par la recombinaison des invariances*, Paris, Fayard, 2008, p. 177.

¹⁷⁹ H. REEVES, *La première seconde*, Paris, Seuil, 1995, p. 141.

¹⁸⁰ G. C. TANNODJI et M. SPIRO, *La matière-Espace-Temps. La logique des particules élémentaires*, Paris, Fayard, 1986, p. 95.

d'énergie »¹⁸¹. De même, on a introduit la notion de différenciation dans la qualité de l'énergie : la perte d'énergie « utilisable »¹⁸². En effet, à partir de l'introduction du concept d'énergie, la mécanique va aller en se rationalisant, en se mathématisant. De fait, la mécanique dite rationnelle est une théorie physique abstraite, idéale ; on y fait implicitement l'hypothèse que tous les phénomènes dissipatifs peuvent être négligés, que les corps en mouvement peuvent être complètement isolés du reste de l'univers, et que, en particulier, l'acte de mesure ne perturbe aucunement le système objet de l'étude physique. En réalité, la mécanique rationnelle fournit le cadre de pensée, idéal, dans lequel fonctionnent les lois de la physique. C'est précisément dans ce cadre que toutes les questions de la physique des particules élémentaires se trouvent.

La loi de conservation de l'énergie s'étend aux interactions élémentaires. Elle a tenu bon, il faut le dire dans les grands bouleversements conceptuels de la théorie quantique et de la relativité. La relativité, par exemple, ne contredit pas la loi de transformation de l'énergie. Elle nous a permis, au contraire de découvrir une autre forme nouvelle que peut revêtir l'énergie. La fameuse relation d'Einstein, $E=MC^2$, nous enseigne que, même isolée, au repos, une particule de masse m renferme une certaine quantité d'énergie. En relativité, « l'énergie et la masse peuvent se transformer l'une en l'autre »¹⁸³. Dans une collision entre particules,

Il est possible que soient produites des particules nouvelles, pour peu que l'énergie totale dans l'état initial soit souffrante : de l'énergie cinétique peut se transformer en énergie de masse. En théorie quantique aussi, la loi de conservation de l'énergie reste valide. Toutefois, dans ce qu'on appelle « les fluctuations quantiques » qui se déroulent pendant des temps très brefs, se produisent d'apparentes violations de cette loi de conservation. : La théorie de la renormalisation.¹⁸⁴

En physique des particules, la conservation de l'impulsion reste vraie et valide. La nouveauté liée à la relativité, réside dans le fait que l'énergie et l'impulsion sont à considérer comme formant un vecteur à quatre composantes, un quadrivecteur, dans un continuum à quatre dimensions, l'espace-temps. Concrètement, les lois classiques de conservation de l'énergie et de l'impulsion fusionnent dans la loi relativiste de conservation du quadrivecteur énergie-impulsion. Ayant constaté qu'un corps en mouvement perd ou gagne de l'énergie, Einstein a réussi à établir un rapport étroit et proche entre l'énergie et la masse potentielle d'un corps en mouvement. C'est ce rapprochement qui fera systématiquement un affect sur la conception de la matière.

¹⁸¹ *Ibid.*, p. 97.

¹⁸² *Id.*

¹⁸³ *Ibid.*, p. 99.

¹⁸⁴ *Ibid.*, p. 100.

Pour comprendre ce bouleversement observé en physique, il faut tout d'abord revenir à la conception de la matière en mécanique classique. Un corps en mouvement à vitesse constante d'un point initial à un point final présente une variation d'énergie en fonction de quantité de mouvement. Cette variation d'énergie du corps en déplacement peut se constituer en perte ou en augmentation d'énergie. Dans une correspondance envoyée à son fils, Einstein démontre ses observations sur la nature des relations qui lie le rayonnement et la masse. Aussi affirme-t-il : « *quand un corps émet un rayonnement, et quand il absorbe les radiations, il s'alourdit. L'énergie cinétique, liée au mouvement, génère sa propre masse.* »¹⁸⁵ Einstein veut alors trouver un lien entre l'infiniment grand et l'infiniment petit. Pour le faire, il se sert de sa théorie de la relativité générale dans laquelle il est aisé, dit-il, de comprendre le comportement de la matière dans l'espace. Cette préoccupation l'amène Plus tard à explorer la constitution de la matière à partir des éléments microscopiques. Partant des radiations solaires, cela semble ne pas être perceptible, car les photons qui les composent sont des particules de masse nulle.

Il part du principe chimique pour lequel la matière est constituée de molécules, et la molécule, d'atomes. Dans un atome, la masse se concentre beaucoup plus dans le noyau constitué de neutrons et les protons concernant les quarks. Ces composantes nucléaires sont solidairement liées par une force nucléaire puissante qui stabilise le noyau atomique par un constituant qui se comporte comme la colle, appelée « gluon ». Il s'agit là de l'interaction forte qui est la force puissante de la nature. Nonobstant, il existe un mouvement à l'intérieur du noyau où des composantes s'entrechoquent entre elles et se réduisent en masse. Nous comprenons alors que la masse d'un corps provient exclusivement des particules élémentaires qui le composent. En clair, suivant le type de rayonnement que nous subissons, il y a que, nos corps s'exposent à la perte ou au gain d'énergie en fonction des conditions extérieures.

En faisant des conjectures sur le comportement de la matière dans l'espace interstellaire au sujet de l'existence des ondes gravitationnelles, la modification de l'espace métrique influence nécessairement le comportement des objets dans l'espace. Ces ondes sont d'origine stochastique car, il est difficile de prévoir de façon formelle l'instant d'émission ou du choc. Schrödinger projette que ces ondes seraient le résultat du choc entre deux trous noirs. Il se trouve donc qu'au moment où le scientifique avance cette hypothèse, aucun dispositif expérimental pouvant justifier son argument n'existe. Seulement, leur découverte Plus tard par des moyens sophistiqués prouve que de façon intuitive, Einstein et Schrödinger avaient réussi à ouvrir une nouvelle fenêtre sur l'observation de l'univers. Mais, systématiquement, ils n'ont

¹⁸⁵ D.B. LASERNA, *L'espace est une question de temps : Einstein et la relativité*, Paris, RBA, 2013, p. 83.

pas pris conscience que cette vue de choses était partielle et parcellaire. Cependant, peut-on en dehors de la masse établir la notion de force ?

3- Peut-on en dehors de la masse établir la notion de force ?

La matière, nous l'avons montré au chapitre 3, est la substance qui forme la nature ou l'univers. Fondamentalement, c'est tout ce qui occupe un volume et qui possède une masse. Dans la vie quotidienne, par exemple, on peut considérer la masse comme le poids. La masse, est une constance d'un atome chez Schrödinger. Il se dit à partir de là, pourquoi considérer la corpuscularité si la masse est constante. En le faisant, il ne considère que la charge. De fait, l'auteur de *Physique quantique et représentation du monde* oublie que l'électron en soi peut développer une force qui l'amène à se libérer. Nous le disons parce que quand l'atome perd un électron, la masse est conservée à cause de la force. Schrödinger considère davantage la notion de charge. En ne se basant pas sur la notion de corpuscularité, il ne veut non pas fondamentalement admettre la notion de force. À partir de là, il élimine d'emblée la conception de la masse du phénomène quantique.

Mais, la masse d'un électron perdu est compensé par une énergie produite par les électrons qui sont restés sur place lors du mouvement ; d'où la constance de la masse. Cependant, si on fait cela, est-ce qu'il faudra donc éliminer la notion de force dans la compréhension de l'énergie quantique ? Sachant même que $E=MC^2$, que devient « m » pour Schrödinger ? Finalement, est-ce qu'il faudra alors calculer la masse de la totalité de l'atome en déduisant l'évacuation d'un électron pendant le processus de l'existence de l'atome à un moment donné ? En effet, les caractéristiques fondamentales font aussi partie du phénomène quantique.

En outre, nous savons que la masse d'un objet représente la quantité de matière qu'il contient, et elle demeure une constante quel que soit son endroit, alors que son poids varie selon la force gravitationnelle. Par exemple, la masse de notre corps est la même, qu'on se trouve au rez-de-chaussée ou au sommet de l'étage. Mais, notre poids peut être légèrement faible si nous nous trouvons soit à tel endroit, ou soit à tel autre endroit. Cette clarification sur les fondamentaux de la matière laisse apparaître les concepts comme la masse, la force, l'espace et le temps. Concepts qui ne peuvent nous laisser indifférents. Contrairement à Galilée qui confondait la masse et le poids, Newton relevait ceci : « *Car nous n'avons aucune expérience ni aucune observation qui nous assure que les corps célestes sont impénétrables. Cependant, je n'affirme point que la gravité soit essentielle aux corps. Et si je n'entends pas la force qui*

réside dans le corps que la seule force d'inertie, laquelle est immuable au lieu que la gravité diminue lorsqu'on s'éloigne de la terre. »¹⁸⁶

Par ces propos, nous comprenons que la masse et le poids jusque-là confondus dans la référence au seul poids des corps célestes, sont distingués par le génie de Cambridge. Il établit en effet que les mouvements de tous les corps doivent être rapportés à l'attraction exercée par la masse de la terre, c'est-à-dire la plus grande quantité de matière de notre système sur les masses des autres corps. On peut, sous ce postulat, dire que la masse est donc pesante au sens où elle représente une certaine quantité de matières mesurables en kilogrammes. Ce qui est malheureusement de nos jours, c'est que certains scientifiques continuent de confondre la masse et le poids, puisque seuls les poids sont mesurables avec des balances, cette quantité de matière ne varie jamais chez Newton. C'est le poids d'un corps qui peut varier, cela nous permet d'expliquer pourquoi la masse que Schrödinger refuse de considérer est aussi inerte. Il la justifie en montrant que tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état.

Sous ce rapport, Newton finit par conclure que lorsque la masse d'un corps est élevée, il est difficile de modifier sa trajectoire, ou de le mettre en mouvement si son état initial est le repos ou le mettre en mouvement si son état initial est en mouvement. La masse est donc un concept fondamental et déterminant dans la compréhension de la matière à l'échelle quantique. Elle a permis aussi à Newton d'établir le principe d'inertie. La physique s'occupe de la matière inerte ou non grâce à la masse. L'importance de la notion de masse à l'échelle quantique est reconnue aussi par Einstein, qu'il en fait un centre de préoccupation. Écoutons-le dans *l'Evolution des idées en physique*,

Quand on débute l'étude de la mécanique on a l'impression que tout dans cette branche de la science est simple, fondamental et établi pour toujours. On soupçonnerait à peine l'existence d'une piste importante que, pendant trois siècles, personne n'a remarquée. Cette piste négligée est liée à un des concepts fondamentaux de la mécanique, celui de la masse.¹⁸⁷

Plus loin, Einstein affirme que « *la physique a commencé seulement par l'invention de la masse, de la force et d'un système d'inertie* »¹⁸⁸. Dire autrement, en dehors de la masse, il dit qu'il existe d'autres constituants de la matière. Il n'est donc pas sans importance d'analyser le

¹⁸⁶ I. NEWTON, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (1687), traduction de la marquise du Chatelet, 1758, livre III, pp. 2-5.

¹⁸⁷ A. EINSTEIN et I. INFELD, *op.cit.*, p. 35.

¹⁸⁸ *Id.*

concept de force et de voir comment elle permet de saisir aussi la matière.

En plus de la masse, Newton transforme le concept de force en concept scientifique pour mieux expliquer la matière. Généralement, la force est toute cause capable de mettre un corps en mouvement, de le maintenir en équilibre. La force est une cause qui modifie le mouvement d'un corps. Le concept de force devient opératoire comme mode d'action de la matière. Contrairement à Schrödinger, Newton estimait que la matière a une force qui est en son sein, lui permettant d'être en mouvement ou de résister. Cette force, il l'appelle « l'inertie de la matière »¹⁸⁹ Car, la force « *qui réside dans la matière (vis insista) est le pouvoir qu'elle a de résister, c'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite* »¹⁹⁰. Cette définition que Newton fait de la force nous permet alors de distinguer deux aspects de forces : la force résistante ou *vis insista* qui s'oppose à la force qui tend à bouger l'état de la matière. Et l'aspect de force impulsive ou *vis impressa* qui en tant que le même corps fait effort pour changer l'état de l'obstacle qui lui résiste.

L'instauration des concepts de masse et surtout de force donne gain de cause à Newton car, par ces deux concepts, il récuse les qualités occultes et les formes substantielles. Il faut le dire, Newton donnait la possibilité de quantifier ces forces, de les calculer à partir de la quantité de la matière. Les différentes définitions qu'il donne de ces principes sont accompagnées des lois qui permettent de calculer la vitesse et l'accélération de la matière. C'est donc l'ensemble de ces lois et définitions qui offrent une nouvelle conception de la matière en physique. On constate finalement que la matière newtonienne est conçue par les concepts de masse et de force. La force en dernière analyse est égale au produit de la masse par l'accélération ($F=ma$). Puisque la force entretient un rapport étroit avec la matière, celle-ci est l'aspect visible de la volonté, et chaque force est la volonté même. Il ne peut donc y avoir de force sans substrat matériel, ni la matière sans la force qui y réside et qui est précisément ce qui fait qu'elle soit. C'est ce qui motivait Arthur Schopenhauer à dire que « *force et matière sont inséparables, parce qu'au fond, elles ne font qu'un* »¹⁹¹.

Historiquement, Newton a jeté les bases de la mécanique quantique, dite rationnelle, en énonçant les lois les plus générales du mouvement :

Un corps livré à lui-même, sous l'influence d'aucune force, se déplace en ligne droite à vitesse constante. Il ne peut acquérir une accélération que s'il est soumis à une force. Or, pour une force donnée, l'accélération acquise est inversement

¹⁸⁹ *Ibid.*, p. 38.

¹⁹⁰ *Ibid.*, p. 47.

¹⁹¹ A. SCHOPENHAUER, *Le monde comme volonté et comme représentation*, traduit par Auguste Bureau, Paris, PUF, 1966, p. 38.

*proportionnelle à la masse du corps. La masse des corps représente donc leur coefficient d'inertie, de résistance à une influence tendant à les dévier du mouvement rectiligne. Il est tout à fait remarquable que la masse soit aussi le coefficient de réponse à la gravitation.*¹⁹²

En effet, nous voulons montrer que la force de gravitation entre deux corps est proportionnelle au produit des masses des deux corps et inversement proportionnelle au carré de leur distance. Le coefficient de proportionnalité est à cet effet une constante universelle, la constante de gravitation. La loi de Newton s'écrit : $F = - G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Elle exprime en réalité la force de gravitation exercée par un corps de masse m_1 sur un autre corps de masse m_2 , situé à une distance r de lui. G est la constante universelle. Le signe moins rappelle que la force de gravitation est attractive. C'est donc en partant de l'égalité de la masse d'inertie et de la masse gravitationnelle, qu'Einstein, lui-même a pu élaborer une nouvelle théorie de la gravitation, la théorie de la relativité générale qui intègre, en les dépassants, les acquis de la théorie newtonienne. De fait, la gravitation bien que très bien comprise sur le plan théorique, ne suffit pas à expliquer la cohésion de la matière. Elle a certes des effets macroscopiques importants, mais l'intensité gravitationnelle est extrêmement faible, au niveau microscopique.

Lorsque Schrödinger veut négliger la corpuscularité, parce que réalisant que la masse est constante, il semble oublier que les forces électrique et magnétique, par exemple sont facilement visibles et étaient mêmes connues des civilisations anciennes. Plusieurs expériences, en laboratoires ont démontré que les corps électriquement chargés pouvaient aussi bien s'attirer que se repousser. On peut donc dire, à partir de là que la charge électrique peut être aussi bien positive que négative, la règle étant que les charges contraires s'attirent, et celles de même signe se repoussent. L'intensité de la force diminue avec la distance exactement comme dans la loi de gravitation de Newton, selon l'inverse du carré de la distance. Ce phénomène se retrouve dans la terminologie « pôle nord » et « pôle sud » pour décrire l'équivalent magnétique de la charge électrique. Tout comme les charges électriques, les pôles contraires s'attirent et ceux semblables se repoussent avec une force qui varie comme l'inverse du carré de la distance. Car, « *la charge électrique ou le pôle magnétique sont la source du champ, dont l'intensité diminue progressivement avec la distance à la source. Il est en effet difficile, voire impossible d'exclure la notion de masse dans la compréhension du phénomène quantique.* »¹⁹³

Concrètement, on ne peut plus parler de la matière aujourd'hui essentiellement à lumière

¹⁹² I. NIKSERESHT, *Démocratie, Platon et la physique des particules élémentaires*, Paris, L'Harmattan, 2007, p. 219.

¹⁹³ *Ibid.*, p. 221.

de Schrödinger. Nous disons cela parce que la matière est devenue un donné sensible dans l'espace et dans le temps. Ce donné, il faut le dire peut s'étudier physiquement et non essentiellement métaphysiquement. L'existence des atomes n'est plus à démontrer aujourd'hui. De fait, il apparaît, comme nous verrons plus loin, que si on se situe à des échelles de distance inimaginablement petites, la force de gravitation redevient importante, voire dominante dans la constitution du phénomène quantique.

Au niveau élémentaire, l'interaction électromagnétique est beaucoup plus intense que l'interaction gravitationnelle. Par exemple, l'attraction électromagnétique entre un électron et un positron¹⁹⁴ est 10^{38} fois forte que l'attraction gravitationnelle. Il est certes vrai, comme le dit Schrödinger, que c'est l'équilibre entre charges positives et charges négatives qui est responsable du fait qu'à grande distance l'interaction gravitationnelle l'emporte sur l'interaction électromagnétique, bien que toutes deux soient de portée infinie. En revanche, à courte distance, c'est-à-dire dans le domaine de la physique des particules, l'interaction électromagnétique est immensément plus importante que l'interaction gravitationnelle. L'existence de ces interactions est l'indication que le noyau atomique n'est pas malgré sa très petite taille par rapport aux dimensions de l'atome, une particule élémentaire, mais une structure composite.

De façon conventionnelle, le fait que le noyau soit constitué de particules de même charge (les protons) ou électriquement neutres (les neutrons) montre, à l'évidence, que l'interaction électromagnétique ne pas être responsable de la cohésion de la matière. Les neutrons sont en principe insensibles à cette interaction, s'agissant des protons, ils devraient se repousser. Il faut bien qu'il existe une interaction différente des deux autres susmentionnées, soit responsable de la cohésion du noyau, pour qu'on parle de l'« *interaction nucléaire forte* »¹⁹⁵. En claire, on ne peut pas parler de la matière aujourd'hui en négligeant la masse. Celle-ci, même si elle est une constante, il y a quand même que la saisie importante du phénomène quantique commande sa prise en compte. Car, « *l'intensité effective de la force entre deux particules nucléaires est déterminée par les charges nucléaires portées par chacune d'elles, exactement comme les charges électriques déterminent l'intensité de la force électrique.* »¹⁹⁶

Finalement, même la prédiction la plus spectaculaire de la théorie de Yukawa sur

¹⁹⁴ Le positron est ce qu'on appelle, l'antiparticule de l'électron, une particule de même masse mais de charge électrique opposée.

¹⁹⁵ I. NIKSERESHT, *Démocrite, Platon et La Physique des particules élémentaires*, Paris, L'Harmattan, 2007, p. 223.

¹⁹⁶ *Ibid.*, p. 215.

l'existence des pions, montre que la masse doit être prise en compte dans la compréhension du phénomène quantique. Car, c'est l'énergie qui peut être fournie par la collision de protons à grande vitesse, dans un accélérateur par exemple. Le vœu du prix Nobel 1933, de négliger la masse et ne considérer que la charge dans la constitution de la matière est donc sans recette. On ne peut donc pas, en dehors de la masse établir formellement la relation $E=MC^2$. Car, que deviendra m ? Notre auteur est guidé par un esprit rénovateur. Lequel esprit l'amène à vouloir refonder, voire redéfinir la mécanique quantique par son formalisme quantique. Seulement, il oublie que le phénomène quantique, s'il doit être interprété, c'est de façon double. Ainsi, négliger la corpuscularité c'est avoir une connaissance parcellaire du phénomène quantique. Cela nous conduit inéluctablement à une vision incomplète de la matière.

CHAPITRE VI : LA CRITIQUE DE L'INCOMPLÉTUDE D'UNE CONCEPTION DU PHÉNOMÈNE QUANTIQUE.

Dans ce chapitre, il est question de se demander si en militant pour une incomplétude de la conception du phénomène quantique, Erwin Schrödinger ne risque pas d'occasionner et de fortifier une connaissance parcellaire de la matière. Il s'agit pour nous de savoir en quoi, notre auteur aurait échoué alors que les fondamentaux de la philosophie de la physique quantique sont en train de se préciser comme le socle de toute connaissance scientifique crédible.

1- L'erreur d'une exclusion de la force dans le phénomène quantique

En physique quantique, on se rend compte que la corpuscularité (masse) est négligée, particulièrement chez Schrödinger. Or, lorsqu'on néglige la force dans la compréhension du phénomène quantique, on semble connaître qu'une partie de la connaissance de ce phénomène. En physique classique, on sait que lorsqu'un mouvement est en chute libre, c'est-à-dire lorsqu'un corps est en mouvement, on peut négliger l'ensemble de ses forces extérieures. Or puisque Schrödinger travaille dans l'atome, au niveau de l'atome, on reconnaît pourtant la constance de la masse, car à l'intérieur de l'atome il y a les particules subatomiques telles que les électrons et les neutrons. Lorsque ces électrons sont en mouvement, quand le corps est chauffé (celui-ci dégage de l'énergie), alors la masse semble négligée. Or cette négligence au moment de l'accélération, $E=mc^2$ donne une connaissance partielle de la matière. Schrödinger pense qu'on ne doit plus tenir compte de la corpuscularité, si on veut comprendre la structure de l'atome. Écoutons comment Ian Stewart dans *Dieu joue-t-il aux dés ?* explique les lois de mouvement sous la plume de Newton :

Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il trouve, à moins que quelque force sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. (2) Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnés à la force motrice, et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée. (3) L'action est toujours égale et opposée à la réaction, c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, et dans des directions contraires.¹⁹⁷

De ce qui en découle, la physique newtonienne est une physique très pratique ayant un

¹⁹⁷ I. STEWART, *Dieu joue-t-il aux dés ? Les mathématiques du chaos (1989)*, trad., M. Robert, Paris, Flammarion, 1992, p. 58.

rapport concret avec la matière dont elle s'occupe. L'étude de la cause du mouvement de la matière est un élément important pour la connaissance de cette matière. Le fait de savoir, en effet pourquoi elle tourne, se déplace, ou change mieux ce qui provoque son mouvement nous situe au cœur de la complémentarité. En fait, c'est la corrélation onde-corpuscule qui, peut garantir une possible compréhension du phénomène quantique. À partir de là, le tort du prix Nobel 1933 est de négliger la masse, dans la structure de l'atome.

De plus, la cinématique est le contraire de la dynamique. Elle se propose donc l'étude des mouvements dans leurs rapports avec le temps ; on ne s'y préoccupe pas des causes de ces mouvements. En réalité, l'état de repos ou de mouvement d'un corps est essentiellement relatif : à l'exemple : dans un avion en vol, un passager endormi est à la fois au repos par rapport à l'avion et en mouvement par rapport au sol. S'il se lève et se déplace, son mouvement par rapport à l'avion sera très différent de son mouvement par rapport au sol. Ceci laisse comprendre qu'un mouvement ne peut se définir que par rapport à un repère (ou système de référence) considéré comme fixe. C'est dire que les mouvements étudiés sont rapportés à des repères terrestres, par exemple à un système d'axes invariablement liés à la terre.

Généralement, pour les grandeurs cinématiques, les physiciens envisagent, aujourd'hui le cas simple du mouvement d'un point matériel, c'est-à-dire d'une matière de dimension assez petite pour être assimilé à un point : le mobile. La paternité de cette branche de la physique revient à Galilée, grâce à son étude des mouvements des planètes. En outre, la statique, qui est la partie de la mécanique ayant pour objet l'étude des forces qui s'exercent sur un corps en équilibre est l'une des caractéristiques de la compréhension du phénomène quantique. L'auteur *de Ma situation actuelle en mécanique* quantique, du fait de son formalisme semble oublier l'autre aspect de la matière. Il le fait sans doute, parce qu'il se dit que la force est en quelque sorte une transposition énergétique. Il préfère donc parler plutôt de charge. En considérant que $F=m \cdot ch$ (charge), on ne peut plus négliger la corpuscularité dans la compréhension de la matière.

Lorsqu'un solide est au repos, par exemple, la somme des forces qui lui sont appliquées est nulle. Autrement dit, la statique s'occupe des solides au repos, de la matière solide¹⁹⁸. Contrairement donc aux autres branches qui s'occupent l'une de la cause du mouvement et l'autre sur l'étude des mouvements et leurs caractéristiques (position, vitesse et accélération...) indépendamment de leurs causes, la statique s'occupe de la matière solide au repos. Nous le disons parce que la masse est le coefficient de réponse à la gravitation, c'est en effet la masse

¹⁹⁸Généralement on sait que la matière connaît trois états : solide, liquide et gazeux. Par exemple, l'eau peut se présenter soit sous forme de glace, soit sous forme de liquide, et ou de vapeur d'eau.

qui intervient dans la formule de Newton, donnant la force d'attraction entre deux corps de masse m . La masse grave est en quelque sorte la « *charge gravitationnelle* ». Il y a donc lieu de dire sans risques que « *la masse d'inertie est le coefficient de résistance d'un corps à l'action d'une force externe : un corps ne peut acquérir une accélération que sous l'action d'une force, l'accélération acquise est proportionnelle à la force et inversement proportionnelle à la masse d'inertie.* »¹⁹⁹ On peut retenir de ce qui précède que le principe d'équivalence postule l'égalité partout et toujours de la masse grave et de la masse d'inertie. Cette égalité a été constatée expérimentalement.

Une autre interprétation chère à Schrödinger, consiste à nier la réalité du dualisme en contestant l'existence des corpuscules. Seules les ondes auraient une signification physique analogue à celles des ondes des théories classiques. Dans certains cas, la propagation des ondes donnerait lieu à des apparences corpusculaires, mais ce ne serait là que des apparences. Pour le faire, Schrödinger avait voulu assimiler le corpuscule à un petit train d'ondes. Mais, cette interprétation ne peut se soutenir, ne serait-ce que parce qu'un train d'ondes a toujours une tendance à s'étendre dans l'espace et ne s'aurait par suite, représenter un corpuscule doué d'une stabilité prolongée.

En réalité, l'interaction entre charges électriques immobiles est décrite par la loi de Coulomb : deux charges électriques s'attirent ou se repoussent mutuellement avec une force proportionnelle au produit de la valeur des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Supposons que la charge d'essai se déplace parallèlement aux charges positives et avec une vitesse identique ; dans un référentiel lié à la charge d'essai, les charges positives sont immobiles tandis que la vitesse des charges négatives, elle n'est pas nulle. En fait, densité des charges positives a changé ; elle est plus faible que dans le repère du laboratoire du fait de la contraction relativiste des longueurs. Puisque, comme le remarque David Böhm, « *lorsque la matière inanimée est laissée à elle-même, le processus décrit ci-dessus d'inveloppement ou de développement reproduit seulement une forme similaire de matière inanimée ; mais lorsqu'elle est ensuite informée par la force, elle réagit favorablement.* »²⁰⁰

Dans tous les cas, lorsqu'on observe les systèmes quantiques à l'aide des dispositifs différents, on obtient des résultats incertains et parfois contradictoires. À partir de là, il devient impossible de penser la matière en dehors de son caractère corpusculaire. Pour Bohr et Heisenberg, on ne peut plus parler de réalité absolue en science, mais plutôt de réalité

¹⁹⁹ G. C. TANNODJI et M. SPIRO, *La matière-Espace-Temps. La logique des particules élémentaires*, Paris, Fayard, 1986, p. 203.

²⁰⁰ D. BÖHM, *La plénitude de l'univers* (1983), traduction et adaptation de Tchalai Unger, Editions du Rocher, 1987, p.196.

approchée. Malgré cette interpellation des physiciens à la conversion vers un nouveau réalisme, certains physiciens vont plutôt se plonger dans un opérationnalisme critique et réaliste qui consiste à délimiter la science aux données observables. La particularité de cette catégorie de physiciens est qu'elle ne doute pas du concept de réalité quantique ou inobservable. De leur avis,

La physique quantique n'est plus seulement une physique du microscopique, mais aussi une physique du macroscopique. C'est la même théorie qui sous-tend désormais notre compréhension du réel physique. Des phénomènes macroscopiques tels que le laser, la supraconductivité etc., dont l'importance dans la production technologique et industrielle n'est plus à démontrer, ne sont compréhensibles que par le quantique. Rien de plus immédiat et de plus utile pour renforcer le réalisme. Il faut toutefois préciser que ce réalisme ne peut plus être celui que défendait Einstein. Il faut désormais prendre en considération la non-séparabilité. Le phénomène quantique n'est rien d'autre que la réalité onde-corpuscule.²⁰¹

Sous ce rapport, la constante, analogue à celle de Newton, a une valeur qui dépend du système d'unité choisi pour mesurer la charge électrique. Elle exprime cependant la force électrique exercée par une charge e_1 sur une autre charge e_2 située à une distance (r) d'elle. Si Schrödinger exclut la notion de force pour ne considérer que la charge du phénomène quantique, il semble oublier que la force est attractive si les charges sont de signes opposés et répulsives dans le cas contraire. Le potentiel électrique s'écrit : $V = e_1 e_2 / r$.

Fondamentalement, le quantum ne peut se comprendre qu'à une échelle double. Nous parlons de dualité parce que, bien que la masse soit une constante, il y a que la matière ne peut ne pas dégager les systèmes corpusculaires. A partir de là, les ondes gravitationnelles qui constituent l'élément fondamental du phénomène quantique, sont-elles aussi corroborées par une force d'attraction. Même si cette force est négligée par le prix Nobel (1933), il faut dire qu'elle constitue pour autant un principe de complémentarité dans la physique des particules élémentaires. La loi de Coulomb explique mieux ce phénomène :

En théorie quantique, la force exercée entre deux charges électriques est due à l'échange de photons virtuels. Ces photons sont virtuels car leur existence est singulière. L'impulsion Δp transférée par un photon virtuel, la durée de l'échange Δt et la distance r entre les charges au moment de l'échange sont reliées par quantum d'action et par la vitesse de la lumière, $r\Delta p = h$ et $\Delta t = r/c$. La force qui s'exerce sur les charges électriques, qui n'est rien d'autre que $F = \Delta p / \Delta t$, vaut donc hc/r^2 . Le nombre de photons ainsi échangé entre les deux charges étant proportionnel au produit des

²⁰¹ J.P. YMELE et M. KZATO NJOCK, « Le principe de complémentarité 70 ans après Einstein dans la crise du paradigme », in *Mâat, African philosophical Review*, 2^e année, n°2 ; janvier 2000, p. 33.

*deux charges, on recouvre ainsi la loi de Coulomb.*²⁰²

Une propriété fondamentale de l'électricité par exemple, apparaît dans la loi de conservation de la charge, qui énonce que dans un système isolé, la différence entre la quantité totale de charges positives et la quantité totale de charges négatives ne change jamais. C'est ce qui motive l'auteur de Démocrite, Platon et la physique des particules élémentaires, à dire que « *La charge ne peut être détruite : quand de l'électricité apparaît dans un système électriquement neutre, toute charge positive est accompagnée d'une quantité égale de charge négative* »²⁰³.

Eu égard à ces propos, l'on est en droit de constater que même dans l'atome, la charge peut s'exprimer en notion de force. Notion de force parce que même en négligeant la vitesse initiale d'un quantum, on tient compte qu'en même de la notion de masse ou de force dans la physique moderne. Si Schrödinger parle de la matière en ne considérant que sa dimension ondulatoire, que devient alors la notion de conversion de charge en force et de force en charge ? Cette interrogation n'est pas sans importance. Il nous faut pour mieux la comprendre, situer la notion de corpuscularité dans le constituant quantique.

2- L'enjeu de la corpuscularité dans le constituant quantique

Nous avons montré dans la section précédente que la force ne peut être fondamentalement exclue dans la compréhension du phénomène quantique car, cette exclusion nous conduit plutôt à une connaissance partielle de la matière. Nous savons qu'en physique moderne la masse est une constance ; cette constance de la masse s'explique par la dualité onde corpuscule du quantum.

Historiquement, la physique moderne augure une nouvelle interprétation du réel. La deuxième période de la physique quantique a consisté à montrer l'implication de la notion de complémentarité dans l'appréhension de la réalité quantique. Par exemple :

*L'énoncé théorique suivant lequel les conditions initiales déterminent la position et la vitesse à tout instant ultérieur est une idée abstraite, qui n'a que peu de rapports avec les problèmes concrets : dans la réalité, quand on fait la mécanique, on ne connaît jamais les données initiales exactement, il y a toujours une marge d'erreur, une incertitude. Mais si cet énoncé est purement abstrait et ne peut pratiquement jamais être vérifié, alors on peut sérieusement douter de la notion de déterminisme, même en physique classique.*²⁰⁴

²⁰² G. C. TANNODJI et M. SPIRO, *op.cit.*, p. 225.

²⁰³ I. NIKSERESHT, *op.cit.*, p. 221.

²⁰⁴ M. EBERHARDT, « *Les physiciens saisis les psys* » in *Science et vie*, n°750, Mars 1980, p. 160.

Il faut retenir que la physique classique n'est pas fondamentalement déterministe au sens absolu du terme, c'est-à-dire en droit et en fait. Nous le disons parce que Schrödinger, en voulant exclure le corpuscule dans la constitution du phénomène quantique, voudrait une démarche déterministe de la matière. Déterministe parce qu'en ne considérant que l'aspect ondulatoire de la matière, il croit que la charge exclut totalement la notion de force. Or, si c'est le cas, on peut suivant le vœu de Schrödinger, avoir une vue déterministe du quantum. En effet, s'il est vrai avec Claude Allègre que nous ne connaissons de la matière qu'un aspect de ce qu'elle n'est pas, alors, la probabilité a tout son sens dans la physique quantique. À partir de là, la corpuscularité est fondamentale. Ceci parce que l'objet est toujours caractérisé par une vitesse initiale étant donné qu'il n'est pas inerte. L'objet selon qu'on se trouve dans le vide ou en pleine air, ne se comporte pas toujours de la même manière selon que les masses entre les objets sont différentes et en pleine air, ils ne peuvent avoir la même vitesse.

Un corps en mouvement peut être en situation d'absorption ou de perte d'énergie. Cette variation affecte systématiquement sa masse. Les travaux d'Albert Einstein ont montré qu'il existe un rapport d'égalité entre l'énergie et la masse d'un corps. La mécanique classique avait alors envisagé une certaine conservation entre la masse et l'énergie, c'est pour cette raison que Lavoisier pensait que rien ne se perd, rien ne se crée. Cette approche explicative ne pouvait plus tenir dans le contexte de la physique théorique. Car, en fonction du type de rayonnement, un corps peut avoir un niveau d'énergie. Cette variation, nous l'avons démontrée dans le chapitre 4, induit en même temps une variation d'état de la matière. Variation qui veut que la matière soit comprise à la fois comme corpuscule et comme onde. Fondamentalement, même le principe de charge contient après conversion, une force. La critique de la non prise en charge de la corpuscularité dans la compréhension du phénomène quantique n'est pas sans effet.

En réalité, l'auteur de *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie*, ne prend pas en compte le corpuscule parce qu'il estime que la masse peut être négligée et donc exclue du constituant quantique. Référons-nous à ces lignes éclairantes de Stephen Hawking :

En mécanique quantique, les forces ou interactions entre particules de matière sont toutes supposées être véhiculées par des particules de Spin entier, 0, 1 ou 2. Une particule de matière, comme un électron ou un quark émet une particule support-de-force. Le recul dû à cette émission modifie la vitesse de la particule de matière. La particule support-de-force heurte ensuite une autre particule de matière et est absorbée. La collision modifie la vitesse de la seconde particule, exactement comme s'il y avait eu une force entre les deux particules de matière. Le fait qu'elles n'obéissent pas au principe d'exclusion est une importante propriété des particules supports-de-force. Cela signifie qu'il n'y a pas de limite au nombre de particules qui peuvent être inchangées, aussi peuvent-elles donner naissance à une force

*forte.*²⁰⁵

De plus, la discontinuité se rapporte au changement des propriétés physiques ou chimiques auxquelles est soumis un corps. Ainsi, la matière peut prendre différent état en fonction du type de rayonnement qu'elle reçoit. Le dire, c'est admettre la valeur de la corpuscularité dans le phénomène quantique. En 1865, Rudolf Clausius, pour caractériser la transformation de la matière, avait inventé le concept d'entropie. Il s'agit en effet du degré de désorganisation ou d'imprédictibilité du contenu en formation d'un système atomique. L'entropie est alors l'énergie de dissipation d'un système. Pour l'illustrer, il faut dire que la discontinuité peut être observée sur la molécule d'eau par exemple. L'eau est composée d'une molécule d'oxygène et de deux molécules d'hydrogène. Elle peut donc se présenter à l'état solide, liquide ou gazeux. Car, à chaque moment, son rayonnement diminue ou augmente en fonction de l'énergie dégagée pour ce changement.

Cet état de choses a été observé sur la nature de la lumière. Il a été démontré par Einstein, à partir de l'effet photoélectrique, que la lumière est composée de petites particules qui vibrent en émettant des ondes. Avec la mécanique moderne, notre compréhension de la réalité physique s'est considérablement améliorée. Le monde quantique danse au rythme de champ et de force, de fluctuation. Ces phénomènes s'accompagnent systématiquement d'onde et de particule. Il se trouve que la constitution de la matière met en scène une certaine énergie qui favoriserait la liaison des éléments atomiques. Cette énergie est dépensée pour assurer un changement d'état interne d'un système. C'est le cas de la molécule d'eau. C'est parce que les anciens avaient foi aux sens qu'ils considéraient la matière comme un tout inséparable. Nonobstant, les progrès observés en chimie et plus tard en physique, ont permis de comprendre la matière ne se limite pas seulement à ce que nous renvoie les sens.

Quoiqu'on dise, le phénomène de discontinuité de la matière englobe toutes les composantes physique et non-physique de l'univers. Ce changement d'état de la matière sous l'influence de la température s'accompagne de son vecteur d'état. À ce niveau, la corpuscularité, si on veut comprendre le phénomène quantique, a toute sa place en physique moderne. Car, la nouvelle nature de la matière observée dans la mécanique quantique semble étrange. La conception d'une physique de cette réalité donc les lois sont de nature probabilistes ne convainc certes pas quelques penseurs, mais c'est une évidence. Einstein et Louis de Broglie s'insurgent à leur tour sur la question de l'absence de trajectoire. Cette représentation n'avait pas trouvé de recette car elle croyait à l'existence d'une certaine linéarité dans le mouvement

²⁰⁵ S. HAWKING, *Une brève histoire du temps. Du big bang aux trous noirs*, Paris, Flammarion, 1989, p. 96.

de la particule. À ce niveau, ils ont envisagé un concept nouveau pour résoudre le problème de l'absence de trajectoire : *c'est l'onde pilote* qui est censé guider l'atome dans son parcours. Le principe de discontinuité à ce sujet n'a pas besoin d'onde de guide parce qu'il n'obéit aux lois de causalité. Mais bien plus, ils accordent un comportement innovant à savoir : le saut quantique. Une particule élémentaire n'évolue pas suivant un cheminement logique et linéaire tel que le voulait la mécanique classique sur la trajectoire d'un corps, mais plutôt aléatoire.

La nature de la matière semble statique suivant la logique macroscopique. À la genèse de la mécanique quantique, le double statut de la matière onde-particule ne faisant pas l'unanimité entre les mentors de la physique. Certains scientifiques postulaient que la mécanique quantique était inachevée. En revanche, la découverte de la décohérence a permis de sauver la mécanique classique en ce sens que les objets macroscopiques stables d'apparence, sont soumis à une oscillation constante. Ainsi, les objets macroscopiques ne sont jamais pour nous, dans les états superposés. Les mystérieuses superpositions quantiques s'évanouissent d'autant plus vite que l'objet est gros. Cette superposition traduit de manière subtile le statut non seulement ondulatoire qui est une valeur intrinsèque régissant toute la matière, mais aussi le statut corpusculaire qui en est le constituant. Pour Serge Haroche, il s'agit voir en cette dynamique le requiem de la théorie de Schrödinger qui concevait distinctement un monde macroscopique à part et un monde quantique à part. Cette hypothèse peut être perçue comme une fiction méthodologique pour comprendre la réalité physique à l'échelle de Planck. Même à ce niveau, on aura toujours besoin du corpuscule pour définir la matière. En somme, il n'y a pas une séparation possible car, le monde physique et la réalité physique coexistent mutuellement.

Dans le monde macroscopique, le concept de mouvement est pris dans le seul angle du mouvement le long d'une ligne droite. Tout est perçu comme si ce mouvement obéissait aux mêmes lois que celui observé le long d'une ligne droite. Ces forces faibles, invisibles dans notre monde macroscopique, sont celles qui habitent le monde virtuel. Or, à l'échelle de 10^{15} K, les particules de la matière que sont : les électrons, les neutrons, les quarks, acquièrent des masses probablement observables à travers nos instruments de mesure. À la suite de Michel Onfray, nous rappelons que « *Les penseurs sont souvent pauvres en monde réel et riches en fiction, en concept, en idée, en notion* »²⁰⁶. Si le monde quantique nous semble comme une réalité lointaine, parce que sa manifestation se situe à une réalité qui n'est pas la nôtre, cela ne voudrait nullement signifier le monde classique comme une réalité intrinsèque. Aborder la question de la matière aujourd'hui, c'est pouvoir s'accorder sur la notion onde-particule : d'où la

²⁰⁶ M. ONFRAY, *Cosmos. Une Ontologie matérialiste*, Paris, Flammarion, 2015, p. 501.

discontinuité de la matière. Cela nous amène au moins à une interprétation probabiliste du phénomène quantique. Un aspect sans l'autre serait peine perdue car, « *L'onde est continue, elle se répand de proche en proche, s'étale à mesure qu'elle progresse, possède des propriétés vibratoires : fréquence, longueur d'onde, etc. La particule, à l'inverse, est un grain de matière individualisée qui possède une masse, une vitesse, donc une impulsion, qui suit une trajectoire, etc.* »²⁰⁷ Dit autrement, en physique quantique, il n'est plus possible de dissocier l'onde de la particule et inversement. Car, la corpuscularité est effet de masse et/ou de vitesse compatible avec l'énergie et/ou la charge : ils vont donc ensemble dans la physique des particules élémentaires. Car sous la plume de Lubos Motl on peut lire : « *Les caractéristiques ondulatoires et quantiques ne doivent pas être tenues pour incompatibles* »²⁰⁸. Cette incompatibilité donne lieu à une conception objective de la notion de masse en physique quantique.

3- La nécessité d'une conception objective de masse

La mécanique quantique, nous l'avons dit plus haut, est la branche de la physique ayant pour objet l'étude de la dynamique des systèmes à faible action (particules élémentaires, atomes et molécules). Ainsi, nous avons dans ce chapitre montré qu'il n'est plus possible de parler de la matière en ne considérant que son aspect énergétique. Partant de là, la force joue un rôle quasi important dans la compréhension du phénomène quantique. Car, sans elle, il est même impossible de déterminer la vitesse ou la position d'un électron. Certes, la masse est une constante, mais cette constante ne donne pas lieu de son exclusion comme le veut Schrödinger. La prise en compte de la masse donne lieu d'une place fondamentale à la corpuscularité dans le quantum. En réalité, on ne peut pas exclure le corpuscule du phénomène quantique. Si on le considère (le corpuscule), on parviendrait à une conception objective de la notion de masse.

Dans la constante de Planck, la quantification de l'énergie : $E=h\nu$ (ici, h est la constante de Planck. ν la fréquence et E , une quantité d'énergie) la masse n'est pas totalement négligée. Planck cherchait à fonder théoriquement une loi, expérimentalement corroborée, relative à la répartition de l'énergie totale du rayonnement noir sur les différentes fréquences constitutives de ce rayonnement. Il faut dire que cette formule prend naissance à partir de la critique de la physique newtonienne. Il reprochait en effet, le fait que chez Newton, il y avait une distinction entre la matière et le savant qui observe. Pour Planck, le savant ou l'observateur n'est pas un médiateur neutre, il trouble l'objet qu'il observe. Il dit à cet effet que,

²⁰⁷ L. MOTL, *L'équation Bogdanov. Le secret de l'origine de l'univers*, Paris, Presse de la Renaissance, 2008, p. 82.

²⁰⁸ *Ibid.*, p. 83.

*Cette précaution à laquelle on ne fait ordinairement pas attention bien qu'on la tienne comme allant de soi consiste à s'assurer que le phénomène n'est pas troublé dans son cours par l'action de son observateur. Si un physicien veut mesurer la température d'un corps, il ne faut pas qu'il se serve d'un thermomètre tel que la nature de ce corps soit modifié quand on le met en contact avec le thermomètre.*²⁰⁹

C'est donc à partir du moment où Planck a montré le rôle crucial de l'observateur que la physique quantique a vu jour. Le concept de champ a été élaboré par Faraday pour surmonter la difficulté de la gravitation laissée par Newton. Il disait que si un corps céleste peut agir en raison de sa masse sur un autre corps céleste, cela signifierait selon lui que cette action s'exerce à distance à travers l'espace vide. Or une telle action à distance est inconcevable. Maxwell à son tour utilise, à la place de champ, l'éther. Ce concept soulève le même problème, celui de l'attraction gravitationnelle, que les corps matériels puissent ainsi agir, les uns sur les autres à distance à travers un espace vide. Cette propriété qu'ont les corps matériels de s'attirer mutuellement est donc sans importance. À partir de là, la matière n'est plus la seule réalité de la physique. Pour comprendre cette hypothèse, il faut chercher comment la masse peut être étudiée objectivement. Voici les témoignages dans l'évolution des idées en physique,

*Nous avons deux réalités : la matière. Il est hors de doute que nous ne pouvons pas à présent concevoir que toute la physique puisse être bâtie sur le concept de matière comme le croyaient les physiciens au début du XIXe siècle. Pour le moment, nous acceptons les deux concepts. Pouvons-nous considérer la matière et le champ comme deux réalités différentes et distinctes ?*²¹⁰

L'admission de la notion de champ en physique a ramené officiellement celle de la métaphysique dans la physique. Car, cette propriété qui permet aux corps matériels de communiquer à distance ne relève que du mystère. Pour Einstein, la matière a une masse, le champ n'en a pas. Systématiquement, « le champ représente de l'énergie, la matière représente de la masse »²¹¹. S'inspirant alors du concept de champ, Einstein démontre que la matière est un réservoir d'énergie et que l'énergie représente la matière. On ne peut donc plus pour cette raison distinguer le champ et la matière, puisqu'il est aussi impossible de distinguer, selon lui la masse et l'énergie. Il a été démontré que la masse inerte diminue lors de l'émission de la lumière si l'énergie émise par un corps correspond à une diminution de sa masse. C'est dire que la matière et l'énergie sont convertibles. Si elles sont convertibles, alors on peut parler d'une conception objective de la notion de masse.

David Bohm concevait également une nouvelle vision globale du monde, mieux de la

²⁰⁹ M. PLANCK, *Initiation à la physique* (1934), Paris, Flammarion, 1993, p. 69.

²¹⁰ Einstein et Infeld, *op.cit.*, p. 228.

²¹¹ *Ibid.*, p. 229.

matière. Son modèle introduit aussi un changement radical dans la compréhension de l'espace et du temps. Contrairement à ce qui se produisait dans la physique classique, l'espace n'est plus vide dans la théorie du « *holomouvement* »²¹² ; ce que nous percevons à travers nos sens comme du vide est en réalité un plein, il contient une quantité énorme d'énergie. Selon les calculs de Bohm, chaque centimètre cube d'espace vide contient plus d'énergie que ce qu'on pourrait trouver dans toute la matière de l'univers connu. L'univers entier, tel que nous le connaissons, n'est qu'une simple petite trace d'excitation quantifiée en forme de vague, en ride dans cet immense océan d'énergie cosmique. De cette façon, tous les éléments essentiels du cosmos, matière, vie et conscience sont des projections émanées d'une base commune inconnue et inconnaissable : c'est le holomouvement. Ceci fait dire à Jean-Paul Auffray ce qui suit : « *Un système physique tel qu'un atome n'est susceptible que d'un nombre fini d'états distincts, il saute d'un de ces états à l'autre sans passer par une série continue d'états intermédiaires* »²¹³.

Concrètement, lorsqu'on tient compte de la masse d'un corps, ça nous permet au moins d'avoir la vitesse et la position d'un électron. On n'a certes pas les deux à la fois, mais à partir de l'un, on peut déterminer l'autre. C'est-à-dire la vitesse à un point A et la position à un point B. Cette dialectique nous renseigne quand même sur le comportement de la matière. Nous sommes- là dans le phénomène quantique chez Bohm. À ce niveau, De Broglie va plus loin et montre que l'énergie est égale à la masse : $E=m$. Or, en connaissant l'énergie et la masse, on peut connaître à la fois la matière et l'antimatière, de la même manière on peut connaître par exemple ma position et ma vitesse, on peut connaître à la fois la dimension proche de la matière et sa dimension lointaine. La force est donc égale à la masse ou la charge qui s'exprime en newton. La charge électrique que nous donne le courant électrique est une charge qui peut nous propulser, ou occasionner un choc. De même, le contact entre le courant électrique et un corps neutre, crée un mouvement qui nous permet de déterminer la charge électrique. Au lieu de parler de la masse, on peut aussi parler de la charge. Einstein renchérit que,

*Le but de Newton était de donner une réponse à la question : y a-t-il une règle simple, d'après laquelle on peut calculer complètement le mouvement des corps célestes de notre système planétaire, si l'état de mouvement de tous les corps à un moment donné est connu.*²¹⁴

L'expérience de plusieurs siècles d'observation a permis de conclure que la réalité du

²¹² D. BÖHM, *La plénitude de l'univers* (1983), traduit et adapté par Tchalai Unger, Monaco, Editions du Rocher, 1987, p. 13.

²¹³ H. POINCARÉ, cité par J.P. AUFRAY, *L'atome, Dominos*, Flammarion, 1997, p. 58.

²¹⁴ A. EINSTEIN, *Comment je vois le monde* (1934), traduit par Maurice Saponine, Paris, Flammarion, 1958, p. 183.

monde physique accessible à nos sens repose en fait sur seulement quatre types d'interactions fondamentales. Par ordre d'intensité, on peut les classer de la façon suivante : interaction forte, interaction électromagnétique, interaction faible et interaction gravitationnelle. En somme, on sait que l'énergie est constituée de la matière pour Einstein, mais on ne peut pas arrêter cette matière à l'échelle macroscopique. Mais pourtant, le battement de l'aile papillon modifie la trajectoire de la lumière. Cette modification démontre que le corps lumineux a été modifié, impacté. Or, Planck démontrait que lorsque le corps est chauffé à un degré très élevé, ce corps nous conduit à la dimension microscopique de la matière. Par contre, pour que le corps soit chauffé, il faut qu'il soit accéléré. Dès qu'il est accéléré, on peut désormais négliger sa masse. Le cas de quelqu'un qui emprunte un ascenseur, il se trouve dans une situation qui montre que sa masse serait négligée.

Lorsque Schrödinger exploite la notion de constance, il y a des implications qui vont l'amener à ne considérer que la charge. Mais, on ne peut pas considérer la physique quantique en s'en tenant seulement à ce qu'exprime tout un atome à un moment donné dans la connaissance de la masse. On peut aussi chercher à savoir comment se comporte l'électron qui est seul et qui se libère de l'atome. En le faisant, on tombe dans l'effectivité de la conception de la masse dans le phénomène quantique. La physique quantique a véritablement bouleversé toute notre conception qu'on avait de la matière. Les auteurs de *La Matière-Espace-Temps. La logique des particules élémentaires*, exprime ce changement par ces termes,

Une révolution bouleverse la science : à la recherche des particules élémentaires, la physique quantique découvre de nouvelles briques fondamentales de la matière, les quarks et les leptons ; mais plus encore, elle fournit le cadre conceptuel qui permet de penser l'élémentarité. L'édifice de la physique classique qui gouverne notre vie quotidienne est fortement remis en cause par l'apparition, au niveau microscopique, de rapports insoupçonnés entre la matière, l'espace et le temps.²¹⁵

De fait, la prise en compte de la masse a donné une compréhension aisée de la matière. Aisée parce qu'elle renseigne mieux sur la position et la vitesse d'un électron. Pour connaître la matière, il faut bien aussi intégrer la notion de masse, de force et finalement de charge pour espérer avoir une conception objective le phénomène quantique. Ce dernier, avons-nous dit, se veut dualiste ; à la fois comme onde et corpuscule. On parle alors de réalité onde-particule dans la compréhension de la matière à l'échelle quantique. Cependant, quel est le crédit qu'on peut accorder à la pensée de Schrödinger sur le phénomène quantique ?

²¹⁵ G. C. TANNODJI et M. SPIRO, *La matière-Espace-Temps. La logique des particules élémentaires*, Fayard, 1986, quatrième de couverture.

Conclusion partielle

Au regard de ce qui précède, on retient que l'analyse de la deuxième hypothèse de notre thématique intitulée « *les insuffisances d'une conception partielle de la matière à l'échelle quantique* » consistait en une interrogation d'une impossibilité de la saisie de la réalité dans sa totalité. La critique que nous avons formulé contre l'infécondité d'un réductionnisme de la matière à sa seule réalité ondulatoire nous a permis non seulement de prouver qu'on ne peut pas saisir l'énergie en dehors de la masse mais surtout d'analyser le statut de la corpuscularité dans la physique de l'infiniment petit. De notre point de vue, la meilleure conception de la matière nécessite la conversion de la charge en masse et vice-versa. Nous avons parlé de la conversion parce qu'en voulant considérer seulement l'onde ou la charge, Schrödinger a ainsi négligé la notion de corpuscule dans la constitution de la matière. Cette négligence de la masse est dû au fait que notre auteur considère la masse comme une constante. Il est certes vrai que la masse d'un atome est une constante, mais le philosophe autrichien parle de l'atome comme si toute la physique quantique se résumait à lui (atome). De fait, sachant que $E=mc^2$, nous nous sommes interrogé sur le statut que Schrödinger accorde à la masse « m » dans la formule de l'énergie. Cette question rhétorique valait la peine. Nous le disons parce que, les lois de la mécanique quantique associent l'énergie et la masse pour une connaissance approximative de la matière.

**TROISIÈME PARTIE : LA MICROPHYSIQUE OU
L'OPPORTUNITÉ D'UNE CONCEPTION RÉALISTE DE LA
MATIÈRE**

Introduction partielle

Cette troisième et dernière partie de notre analyse intitulée : « *la microphysique ou l'opportunité d'une conception réaliste de la matière* », est le lieu pour nous de répondre à la vieille problématique de la physique dont l'essentielle est : *Serons-nous jamais en mesure de qualifier la matière ?* Dans cette partie, nous allons démontrer qu'on peut, tout au moins, en capturer quelques reflets dans les miroirs du réalisme des sens, de l'ondulatoire théorie quantique et de l'abstraite théorie quantique des champs. La justification de ce postulat nous permettrait d'établir la fécondité théorique de la conception schrodingerienne de la matière. Il s'agira de donner les arguments justificatifs qui garantissent la permanence et de la pertinence de l'indéterminisme ou de la probabilité en science. Ce serait le lieu de justifier le bien fondé des fondamentaux de la philosophie de la physique quantique. Ayant démontré à la première partie que la physique quantique n'est pas fondamentalement une science fondée sur l'atome, mais plutôt sur les particules subatomiques, nous nous donnons pour tâche de prouver en quoi cette physique serait au fondement de la nouvelle métaphysique. La conception que nous allons donner de la métaphysique sera justifiée par les fondamentaux de la microphysique. L'expression métaphysique moderne est fondée sur les microparticules, connaissables par le vecteur d'état de Schrödinger. Nous nous servirons donc du rapprochement entre la métaphysique et la fonction d'onde pour justifier la pertinence et la permanence de l'apport de la physique quantique dans la conception de la matière.

CHAPITRE VII : DE L'IMPOSSIBLE DÉSOLIDARISATION DE LA MASSE ET DE L'ÉNERGIE DANS LA CONCEPTION QUANTIQUE DE LA MATIÈRE

Dans ce chapitre, nous voulons exposer les différents enjeux d'une désolidarisation de la masse et de l'énergie dans la conception de la matière. Par enjeux, nous faisons allusion à l'arsenal d'éléments qui témoignent à suffisance les relations d'identité, de complémentarité et de superposition entre les différentes parties d'une matière.

1- Vers une nouvelle interprétation du corps (masse et énergie)

En proclamant la fin de la physique classique, les scientifiques ont découvert une interprétation nouvelle de la matière. Cette nouvelle interprétation prend en compte des réalités non visibles, faisant de l'objectivité en science une ouverture permanente à la rectification des vérités en négligeant ses caractéristiques fondamentales que sont la masse et l'énergie. Nous le disons parce que les objets microscopiques se justifient par le probabilisme scientifique. Ainsi, la science n'est plus déterministe. C'est ce qui explique la notion des lois élaborées dans la physique de Newton et dépassées par Einstein. Le prolongement de ces lois trouve des ramifications dans la physique quantique. C'est donc dire que les lois du ciel ou des atomes seront désormais dépassées. Celles-ci seront remplacées par les lois de fentes de Yung. Lesquelles lois expliquent mieux la bipolarisation de la matière. De fait, il n'est plus possible, en physique quantique de parler de la matière en ne considérant que soit son énergie soit sa masse essentiellement.

À partir de là, la non-séparabilité entre la masse et l'énergie dans la physique quantique nous situe désormais dans l'objet quantique, et non dans l'objet classique. Dès les années 1900, avons-nous signalé au chapitre quatre, les expériences sur l'électricité vont occasionner l'accélération du rythme de la mécanisation du monde. Nous le disons parce que la mécanique quantique a permis d'exploiter dans presque tous les domaines du savoir. Par exemple, avec la mécanisation industrielle, la création de la machine à vapeur, l'apparition des entreprises, le renforcement de la médecine curative et le développement du réseau ferré. Dans cette période, l'homme semble clamer victoire sur les déterminants de la vie. Nonobstant, il existe encore des domaines mystérieux où les lois de la mécanique classique ne parvenaient pas à donner

d'éclaircissements. On y parvient aujourd'hui grâce à la physique des particules.

Avec la découverte de la microphysique à la première moitié du XXe siècle, la nature est devenue progressivement nue devant l'intelligence de l'homme. C'est sans doute ce qui fait dire à Charles Jean Marie Minyem que si l'intelligence « *crée tout au sein d'elle-même, il n'y a plus rien qui ait besoin de Dieu pour créateur, c'est-à-dire pour cause d'existence. La pensée humaine devient alors le seul créateur ou seul Dieu* »²¹⁶. En effet, c'est l'image de l'« homme-Dieu » qui sera mise en exergue à la troisième révolution. Celle-ci part de 2000 à nos jours. En clair, ce mouvement révolutionnaire est marqué par l'arrivée des NBIC (Nanotechnologies, Biotechnologies, Informatique et sciences cognitives). La dimension des NBIC tient au fait que la vie elle-même s'opère à une échelle hors de portée macroscopique. Elle est de ce fait effective à l'échelle du nanomètre, c'est-à-dire à l'échelle quantique.

Schématiquement, la physique quantique est le prolongement d'une idée initiée par Démocrite pendant l'antiquité grecque. Pour Démocrite, toute la matière est constituée d'un agrégat d'atomes. Ces atomes sont eux-aussi des « *éléments plus petits, invisibles à l'œil nu* »²¹⁷. Ces éléments sont insécables, dont indivisibles. Le philosophe atomiste justifie cela par le fait que, la matière elle-même n'est pas continue. Car, le plus petit constituant de cette matière ne saurait être divisé en d'autres éléments plus petits. L'idée de Démocrite remettait en question le principe athénien pour lequel la matière serait continue et divisible infiniment. En effet, la réflexion contemporaine sur la notion des quanta donne à penser que la réalité physique est influencée par quelque chose. Par ricochet, on sait avec Bertrand Russell depuis la renaissance que ce n'est pas Dieu qui envoie « *des signaux télépathiques* »²¹⁸ sur les choses pour empêcher leur connaissance, c'est plutôt leurs parties invisibles.

De plus, la physique quantique a permis de comprendre que chaque matière qui existe dans notre monde a son antimatière. Cela est valable aussi pour des particules, des neutrons et des électrons. De façon chronologique, Gabriel Chardin affirme que « *trente-trois ans après la découverte du positron d'Emilio Segré, Owen Chamberlain, Clyde Weigand et Tom Ypsilantis découvrent, en 1955, l'antiproton, puis l'année suivante, l'antineutron.* »²¹⁹ Sous ce rapport, la physique quantique est considérée à notre temps comme un degré d'intelligence humaine qui marque la fin du mystère dans son existence. Car, c'est grâce à la mécanique quantique que les

²¹⁶ C.J.M. MINYEM, *Descartes et le développement*, Paris, L'Harmattan, 2011, p. 68.

²¹⁷ L. DALY, *Découvrir Dieu grâce à la science : Itinéraire spirituel d'un scientifique*, Paris, L'Harmattan, 2010, p. 36.

²¹⁸ B. RUSSEL, *Problèmes de philosophie*, Paris, Payot, 1989, p. 18.

²¹⁹ G. CHARDIN, *L'univers de Dirac-Mine. Un univers symétrique matière-antimatière*, Paris, Michel-Ange, 1996, p. 7.

outils extraordinaires notamment « *les postes radios, les téléviseurs, les chaînes stéréo, les téléphones, les fax, les ordinateurs et l'internet nous rendent la vie plus agréable et nous relient les uns aux autres* »²²⁰. Aujourd'hui, la médecine quantique et la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique sont considérées comme des preuves vivantes du parallélisme des mondes, mieux de la bipolarisation de la matière.

La médecine quantique, il faut le dire, a apporté une véritable révolution dans la médecine contemporaine. Nous parlons de révolution parce que celle-ci a permis d'accroître l'expérience jusqu'au séquençage de l'ADN. C'est finalement un « Géo-tsunami » qui pourra permettre la prédiction et la manipulation de la vie à l'échelle quantique. Il est aussi important de relever que la pratique de l'eugénisme qui relevait autrefois des sciences fictions, est déjà courante de nos jours en médecine, sous forme d'administration de vitamines et d'hormones comme l'insuline ou la thyroxine. En effet, ce qui fait la particularité de la médecine quantique, c'est qu'elle postule pour la maîtrise de la matière biologique à l'échelle de l'infiniment petit. Au Cameroun par exemple, la manipulation génétique et la fécondation *in vitro* au centre pasteur peuvent être considérées comme des potentiels pistes pour combattre le tribalisme qui sème tant de divisions au quotidien.

Avec la nouvelle technologie du CRISPR-Cas²²¹, le génie génétique tend vers la révolution du monde. Il faut dire que la technobiomédecine, particulièrement le modèle CRISPR-Cas9 permet de modifier le génome humain ou animal, en coupant de façon précise des parties défectueuses de l'ADN grâce aux ciseaux moléculaires. Prenant position pour l'amélioration de la vie humaine à partir de la médecine quantique, voici ce que pense Dali Djonsala,

*La génétique a été à l'origine des grandes révolutions dans le domaine de la technomédecine de telle sorte qu'elle est devenue le symbole même du développement des sciences de la vie dans leur ensemble. Elle suscite, par les immenses perspectives qu'elle offre, espoir et inquiétudes à la fois. Elle est en effet devenue l'une des voies d'approches privilégiées du vivant. Le véritable bond en avant dans l'étude du développement permis par l'intrusion de cette science est sans doute l'une des illustrations les plus marquantes de la puissance de l'approche génétique.*²²²

²²⁰ B. GREENE, *l'Univers élégant, de l'infiniment petit, l'unification de toutes les théories de la physique*, Paris, Robert Laffont, 2000, p. 9.

²²¹ Le système CRISPR-Cas est un nouveau système, rapide et efficace pour couper l'ADN à un endroit précis du génome, dans n'importe quelle cellule. Il est constitué d'un « ARN guide », cible une séquence d'ADN particulière, associé à l'enzyme Cas 9, qui, comme des ciseaux moléculaires coupe l'ADN. in [https:// www.afm-telethom.fr/glossaire/ crispcas 9-90754](https://www.afm-telethom.fr/glossaire/crispcas-9-90754), consulté le 25 octobre 2022 à 20 h 40.

²²² D. DJONSALA, « Les implications de l'ingénierie génétique et des NBIC sur l'humain : une réflexion sur les technosciences du vivant », Thèse soutenue en vue d'obtention du Doctorat/PhD le 23 mars 2023, à ANBP8, sous

En fait, en faisant le brassage des gènes de plusieurs tribus, l'on pourra au bout d'une décennie avoir des enfants de la nation. Ces enfants, ayant affranchi les frontières tribales intégreront facilement la notion de la communauté, du vivre ensemble.

Concrètement, le parallélisme des réalités qu'utilise le médecin quantique pour sauver des vies, est encore d'actualité, sur le plan de traitement de certaines maladies qui étaient jadis incurables. C'est par exemple le cas du cancer. Les recherches contre celui-ci progressent chaque jour. Ces quinze dernières années, au près des thérapies classiques, d'autres traitements anti-cancer ont vu le jour. Nous avons aussi la méthode par immunothérapie découverte par l'académie, Nobel en 2018. Cette méthode consiste à stimuler le système immunitaire du patient pour que le corps se débarrasse des cellules tumorales. À ce niveau, on introduit les particules étrangères dans le corps du patient, pour activer les deux protéines que freine le développement du cancer. C'est l'exemple de l'ipilimumab. C'est un anticorps, mieux un anti-CTAA-4, qui active la réponse immunitaire contre le cancer. La protéine CTLAA-4 a été découverte par James Allison, chercheur à l'université de Tas.

La bipolarisation de la matière nous situe inéluctablement dans l'épineux problème de la mesure. Des quatre forces qui constituent la physique des particules, seule la quatrième (la force électromagnétique) nous situe finalement au cœur de l'impossible désolidarisation de l'énergie et de la masse. On peut, à partir de là, déjà comprendre le comportement de la matière à l'échelle quantique. Cette matière semble se comprendre de façon invisible à l'échelle de l'infiniment petit, pourtant on peut faire une lecture plausible dans la quatrième dimension. Nous sommes alors dans la quatrième dimension du réel, qui n'exclue pas la première dimension, qui est macroscopique. Michel Cassé, en expliquant l'expansion dit ceci, « *particules et antiparticules sont formées en nombre égal, puisque par paires. Ainsi, le big bang a fourni l'opportunité pour que s'opère, en un temps très court, la prodigieuse formation de toutes les particules élémentaires et de leur double* »²²³. En effet, l'histoire du refroidissement de l'univers sera scandée par les transitions fondamentales qui font apparaître sous une forme radicalement nouvelle la matière ou bien les forces qui gouvernent son comportement, c'est-à-dire par les « *brisures de symétrie* »²²⁴. Car, nous dit Cassé, « *qualitativement, la température et la densité, ainsi que l'énergie des photons décroissent de manière continue au fil du temps, cela en raison de l'expansion de l'univers* »²²⁵. Considérer ces propos de Cassé revient à se demander comment l'espace purgé de tout son contenu peut-il

la direction du Pr Mouchili Njimom Issoufou Soulé, p. 200.

²²³ M. CASSE, *Du vide et de la création*, Paris, Odile Jacob, 1993, p. 155.

²²⁴ *Ibid.*, p. 156.

²²⁵ *Id.*

recevoir de l'énergie. La réponse d'Heisenberg trouve toute sa recette. Selon ce principe, « *l'ensemble complet des particules virtuelles en interaction pèse d'un certain poids et le vide gravite. Au vide, dans son ensemble, on peut assigner une densité d'énergie, du moins en principe. Le virtuel tient lieu de réalité.* »²²⁶

En sciences modernes, nous dit l'auteur de, *Existence et Science. Essai sur la croissance technologique*, on n'observe plus seulement avec les sens. Les instruments sont devenus le soubassement des théories scientifiques, et l'incertitude a fait son nid dans le champ de la connaissance. « *Heisenberg nous dit que si nous mesurons la vitesse d'une particule élémentaire, nous ne pourrions pas connaître la position qu'elle avait au même moment parce que le fait d'avoir mesuré sa vitesse a modifié ses caractéristiques, donc sa position.* »²²⁷ Nous voulons montrer ici que l'observation n'est pas neutre. Car « *si on mesure sa position, c'est bien sûr la vitesse qu'on ne pourra pas connaître.* »²²⁸

De plus, c'est avec la découverte faite par Einstein au sujet de la lumière qu'on a réalisé que la matière révèle plusieurs facettes. De fait, la matière est constituée d'ondes et de particules de masse nulle, c'est-à-dire les photons. Systématiquement,

*les particules composant la totalité des atomes et du monde matériel étaient également des ondes. En fait, elles sont ondes quand elles se propagent, et quand on les observe, il se produit un phénomène que l'on appelle la réduction du paquet d'ondes. La particule d'onde devient un point matériel localisé et observable, laissant une trace en un endroit précis.*²²⁹

Il est surtout question de savoir comment une onde étendue sur un espace qui, en théorie quantique, peut être immense, peut aussi se réduire en un point précis. En fait, « *un phénomène qui peut, en théorie, être étendu sur un espace immense se réduit instantanément à un seul point* »²³⁰.

Concrètement, la physique quantique nous a donné une compréhension avancée de la matière. La réalité onde-particule reste désormais une signification exceptionnelle dans la théorie quantique. Nous le disons parce que, c'est visiblement à partir de là que la conscience humaine devient de plus en plus créatrice des faits. En effet, il est démontré aujourd'hui que c'est notre conscience qui crée la réalité, et non le contraire. C'est là le point ultime jusqu'où peut aller la révolution quantique. Selon Mouchili, c'est

²²⁶ *Ibid.*, p.158.

²²⁷ H. STAPP, *Le monde quantique et la conscience. Sommes-nous des robots ou les acteurs de notre propre vie ?*, traduit de l'anglais par Alessia Weil, Devis, 2016, p. 7.

²²⁸ *Id.*

²²⁹ *Ibid.*, p. 8.

²³⁰ *Id.*

*par rapport à sa position et à la mesure que le sujet prend conscience du fait que la particule quantique existe. Mais aussi faut-il intégrer le fait que la physique quantique nous apprend qu'en dehors de toute observation, l'atome est en état double, à la fois non désintégré et désintégré. On appelle cela la superposition des états. Il s'agit, par exemple, du fameux paradoxe du chat de Schrödinger.*²³¹

Autrement dit, c'est le sujet qui crée ou fabrique le réel quantique. La bipolarisation de la matière soulevée par Einstein allait plus tard connaître des ramifications et des succès dans la physique qui sera appelée progressivement physique quantique. De fait, La matière étant constituée d'atomes et ces derniers de noyaux et d'électrons, la masse d'un corps macroscopique est tout simplement « *la somme des masses de ses noyaux et de ses électrons. Il suffit donc de considérer les masses des électrons et des noyaux.* »²³²

De même, expliquant la corrélation physique de la théorie de la relativité, Jacques Montminy estimait qu'une propriété de portée générale, connue aujourd'hui sous le nom de principe de relativité galiléenne, et selon laquelle les lois de la mécanique sont les mêmes, et par conséquent, « les phénomènes mécaniques se déroulent de la même manière-relativement à deux référentiels dont l'un est animé d'une translation rectiligne uniforme par l'autre. »²³³ Finalement, la non-désolidarisation de l'énergie et de la masse sur l'objet quantique nous conduit inéluctablement dans le phénomène quantique. Cette bipolarisation de la matière nous situe dans un mystère. Lequel mystère conduit finalement à un regard pluriel si on veut comprendre la matière à l'échelle quantique. On est là, au cœur d'une éventuelle conception métaphysique de la matière.

2- La matière potentiellement objet de la métaphysique

Après avoir montré plus haut comment il est impossible de la parler de la matière aujourd'hui sans tenir compte de sa réalité double : onde-corpuscule, nous allons dans cette sous partie justifier la nécessité d'introduire la métaphysique dans la conception quantique de la matière.

De façon conventionnelle, l'implication de la métaphysique en mécanique quantique justifie en quelque sorte la délicate question de la mesure en physique moderne. En effet, la physique des particules donne l'opportunité de s'intéresser à la réalité virtuelle comme faisant partie de la connaissance du phénomène quantique en science. En le faisant, elle pose ainsi les

²³¹ I.S MOUCHILI NJIMOM, *Existence et science. Essai sur la croissance technologique*, Paris, L'Harmattan, 2022, p. 61.

²³² H. FRITZSCH, *E=MC². Une formule change le monde*, Traduit de l'allemand par Annie Brignone, Ed. Odile Jacob, 1998, p. 204.

²³³ J. MONTMINY, (1995). *Origine et fondements philosophiques de la relativité : les conceptions de Mach, Galilée et Einstein. Philosophiques*, 22(1), 21-34. Doi :10.7202/027306ar, p. 27.

jalons d'une métaphysique expérimentale, ou objectivement rectifiée au sens bachelardien du terme. Cela est possible à partir des outils mathématiques conduisant à la description d'une réalité virtuelle. Einstein lui-même disait que la physique a commencé réellement par l'invention de la masse, de la force et d'un système d'inertie. Il se disait lui-même métaphysicien. De fait, l'invention de ces concepts qui ne relèvent d'aucune expérience ni d'aucune observation justifie le caractère métaphysique de la physique moderne. Puisque, selon Newton, « *le corps est ici proposé comme un objet d'examen, non en tant que substance physique dotée de qualités sensibles mais seulement en tant qu'étendu mobile et impénétrable. J'ai seulement pesé les propriétés requises pour le mouvement local* »²³⁴.

En revisitant les textes des anciens, on réalise qu'il y a proximité entre leur conception de la matière et celle de la physique moderne. Il est vrai qu'ils n'avaient pas tous les outils pour décrire le réel de manière objective. Pour les Stoïciens par exemple, le monde qui nous entoure est pénétré par un principe de cohésion de mouvement et de vie. Cette description est conforme à celle de John Bell sur le principe de la non-localité de la matière. À ce sujet, Cicéron affirmait que « *la nature forme un tout bien lié et cohérent, que l'univers soit un, que tout se tienne dans la nature universelle, de fait. Le flux et le reflux de la mer sont commandés par les phases de la lune...* »²³⁵ On peut voir à travers cela que les anciens poursuivaient le même réel qui est décrit par la physique contemporaine. Avec cette interprétation, l'on peut dire que la science et la métaphysique tentent toutes de décrire le réel, depuis toujours. Nonobstant, signalons déjà que l'approche scientifique est quantitative, alors que la métaphysique classique décrit une réalité globale. Or, avec les nouveaux éléments, il semble exister un point de convergence entre leur approche pour la simple raison que la métaphysique moderne décrit aussi un réel quantifié.

De plus, les apories observées dans la maîtrise de la matière démontrent qu'elle ne se laisse pas séduire par l'humain. Mais, avec la physique moderne, nous constatons qu'il n'existe pas d'objets en soi. Car, selon Claude allègre, nous ne connaissons de la matière qu'un aspect de ce qu'elle n'est pas. Ces efforts substantiels ont apporté dans la nature un nouveau souffle pour décrire l'univers, quittant du déterminisme vers le principe d'incertitude de la matière. De fait, si les anciens voyaient que la nature présentait une sympathie universelle, « *comme une unique corde qui, touchée à un bout transmet un mouvement à l'autre* »²³⁶, ils comprendraient que la matière présente plusieurs réalités. En réalité, l'histoire des sciences est évolutive et présente de ce fait des paradigmes qui parfois sont évalués au profit des autres, pouvant

²³⁴ I.NEWTON, *Traité d'optique*, traduction française Morat, Paris, Librairie Leroy, 1787, p. 75.

²³⁵ Cicéron, *De la divination*, II, 14 §33-34.

²³⁶ Plotin, *Ennéades*, IV, p. 14.

améliorer les préoccupations existentielles. La mécanique quantique répond favorablement aux idées avancées par les savants classiques, avec les principes entre autres de la non-séparabilité et de l'indivisibilité de la matière.

Loin d'enfermer notre contact à la matière exclusivement sur les impressions sensibles, comme en mécanique quantique, le scientifique intègre aussi son expérience psychique dans sa construction du réel. Nous entendons, par expérience psychique, « *un ensemble formé d'expériences sensibles, d'images provenant de la mémoire, de représentations et de sentiments.* »²³⁷ Comme on peut le constater, tout acte de perception devient très souvent un acte de création ou de récréation. À travers ses travaux sur le cerveau humain, Edelman déclare que « *si notre description scientifique du monde porte sur la nature, notre créativité reflète l'aptitude de notre cerveau à donner naissance à une seconde nature.* »²³⁸

La physique des particules a ceci de particulier qu'elle s'ouvre de nouveau à d'autres questions métaphysiques. En effet, il est question ici de la métaphysique moderne qualifiée par Shimony comme une « *métaphysique expérimentale* »²³⁹. Dans cette métaphysique, il n'y a plus de frontières entre la philosophie et la science. C'est d'ailleurs ce que rappelle Foester lorsqu'il affirme ce qui suit : « *les grandes questions scientifiques sont devenues philosophiques, parce que les grandes questions philosophiques sont devenues scientifiques* »²⁴⁰. Cet entrecroisement entre la science et la métaphysique est une incidence épistémologique. Nous parlons d'incidence parce que dès « *ses balbutiements, la mécanique quantique a jeté le trouble dans l'esprit des physiciens. Ils ont donc été confrontés à de redoutables questions. Certaines les ont amenées sans échappatoire possible sur le terrain philosophique.* »²⁴¹ Au cours de son émancipation, la physique quantique a révolutionné le concept du réalisme en le rapprochant progressivement du platonisme ou encore de réalisme des essences.

Ayant constaté ce rapprochement, d'Espagnat a conclu que « *le réalisme philosophique d'un physicien peut difficilement ne pas être un peu platonicien. Les objets perçus sont seulement des projections de ce qui est* »²⁴². Le réalisme quantique est en fait un point de départ de la métaphysique contemporaine. La physique quantique est comme le disait Einstein, « *un fantôme qui n'existe ni dans la réalité ni dans la théorie physique* »²⁴³. Le père du principe de

²³⁷ R. NADEAU, *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*, Paris, PUF, 1999, p. 25.

²³⁸ G. EDELMAN, *La science du cerveau et la connaissance*, Paris, Odile Jacob, 2007, p. 120.

²³⁹ SCHIMONY, cité par Steven Weinberg, *Le monde des particules, « pour la science »*, Paris, Seuil, 1985, p. 36.

²⁴⁰ V. FOESTER, cité par Claude Allègre, *Dieu face à la science*, Librairie Arthème, Fayard, 1997, p. 12.

²⁴¹ E. KLEIN, « Introduction au débat quantique », in *étude*, t. 135, n° 6, Déc. 1991, p. 364.

²⁴² B. ESPAGNAT (d'), cité par C. ALLEGRE, *Un peu de science pour tout le monde*, Ed. Fayard, 2003, p. 47.

²⁴³ M. PATY, « sur le réalisme d'Albert Einstein », in *La pensée*, n° 204, avril 1979, p. 17.

la relativité l'appelait : « *le réalisme de l'intuition* »²⁴⁴. Cela nous amène à comprendre que la métaphysique a tout son sens dans nouvelle physique dite des particules. Cette nouvelle physique constituée des entités théoriques inobservables et infiniment petites n'est rien d'autre que la métaphysique. À partir de là, la science redevient au détriment de la pensée de Newton, la métaphysique de la matière.

Par ce constat, la métaphysique et la science sont inséparables, car elles sont comme la main et la tête. Claude Bernard relève à propos qu'« *il serait impossible de séparer ces deux choses : la tête et la main. Une main habile sans la tête qui la dirige serait un instrument aveugle ; la tête sans la main qui réalise reste impuissante* »²⁴⁵. Une science habile sans la métaphysique qui la dirige serait donc un instrument aveugle et vice versa. Claude Bernard nous situait, ainsi par ses propos, entre la science et la métaphysique dans la connaissance de la matière. Cela nous fait désormais éviter tout exclusivisme scientifique ou métaphysique et à voter pour une certaine complémentarité. Car, les scientifiques qui se penchent essentiellement sur l'aspect physique de la matière, ne voient qu'une seule partie d'elle, pareillement pour les métaphysiciens. La métaphysique est pour Erwin Schrödinger, l'avant-garde de la véritable connaissance. Dans son article, « Réflexion sur la philosophie de Bohn, Heisenberg et Schrödinger », Shimony rappelle ce qui suit : « *Heisenberg a tiré de la mécanique quantique une thèse métaphysique qui est profonde et radicale* »²⁴⁶. C'est donc dire que l'état d'un objet physique est une collection de potentialités.

Aujourd'hui, la physique évolue dans un nouveau paradigme. Nouveau paradigme parce que les fondamentaux même de la physique sont, eux-aussi devenus problématiques. Il faut dire que de nos jours où l'expérience nous oblige à chercher une base plus neuve et plus solide, la tâche du physicien ne peut plus se limiter essentiellement à l'explication de la réalité macroscopique. Par ricochet, il ne peut plus rester indifférent par rapport à la réalité microscopique. Il se produit toujours une succession d'évènements sur nos expériences. Fondamentalement, du sujet à l'objet en passant par l'instrument, l'on note tout un mirage. L'impression sensible que se dote le chercheur face à un fait ainsi que la représentation qu'il se construit de lui se dilate en créant une nouvelle réalité appelée phénomène. Le phénomène quantique « *impose une révision radicale de notre attitude en ce qui concerne la réalité*

²⁴⁴ A. EINSTEIN, cité par M. PATY, « Einstein et la pensée de Newton », in *La pensée*, n° 259, septembre 1987, p. 28.

²⁴⁵ C. BERNARD, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris, Garnier-Flammarion, 1966, p. 27.

²⁴⁶ A. SHIMONY, « Réflexion sur la philosophie de Bohn, Heisenberg et Schrödinger », in *Journal de physique, Colloques*, 1981, p. 87.

physique »²⁴⁷. Bachelard renchérit en disant qu'en matière de connaissances, « *le réel n'est jamais ce qu'on pourrait croire, mais plutôt ce qu'on aurait dû penser* »²⁴⁸.

De plus, la vision métaphysique de la réalité quantique nous permet d'emprunter une dialectique dont le sens du changement consiste à quitter la vision unique, close et cloisonnée du réel pour une vision ouverte. Aujourd'hui, ceux qui soutiennent que la science dépend des faits auraient vite fait de comprendre que le réel reste un éternel mystère et sa compréhension, un devoir pour le chercheur. « *Le but de la science est, d'une part, la compréhension, aussi complète que possible et la mise en relation des expériences sensibles dans toute leur variété, et d'autre part, le parachèvement de ce but en employant un minimum de ces concepts primaires et de relations* »²⁴⁹. Comme nous avons dit plus haut, dans le rapport langage-réalité-connaissance, il y a tout un lac d'illusions. En fait, à « *coté des images que la réalité présente à l'œil physique, il existe un monde différent d'images qui vivent mieux encore, ne viennent à la vie que dans nos esprits et qui, bien que suggérées par réalité sont totalement transformées.* »²⁵⁰

Schématiquement, la construction du savoir scientifique est un phénomène ouvert, dominé de surprises. Elle est d'autant plus surprenante que la surprise que pourrait nous susciter l'attitude d'un homme qui venait de demander « *quel est l'âge ou le caractère du roi sculpté d'un jeu d'échecs ?* »²⁵¹ Pour la tradition métaphysique, la cité scientifique serait victime d'une grave erreur si elle considèrait les sens comme source de la connaissance. Il s'agit là d'une critique profonde contre la conception du réel développé à l'école de Vienne. En effet, dans la conception métaphysique du réel, ce qui est scientifique n'est plus directement vérifiable. Et ce qui est vérifiable n'est plus forcément « ce qui peut être mis en rapport direct ou indirect avec des perceptions publiquement attestables »²⁵².

Sous ce rapport, le réalisme quantique ne se rattache pas au langage des données sensibles de l'expérience vécue de sorte que Rudolph Carnap aurait pu avoir raison de dire qu'« *une chose située par principe au-delà de l'empirisme ne saurait être énoncée, pensée, ni questionnée* »²⁵³. Subjectivement, la connaissance renvoie à un « *état d'esprit ou de conscience*

²⁴⁷ B. BENSUADE VINCENT, « L'évolution de la complémentarité dans les textes de Bohr (1927-1939), in *Revue d'histoire des sciences*, tome 38, n° 3-4, 1985, p. 242.

²⁴⁸ Gaston Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* (1938), Paris, J. Vrin, 1980, p. 18.

²⁴⁹ A. EINSTEIN, « La physique et la réalité », in *Conceptions scientifiques*, Flammarion, 1952, p. 24.

²⁵⁰ *Ibid.*, p. 257.

²⁵¹ *Ibid.*, p. 261.

²⁵² W. HEISENBERG, *Physique et philosophie la science moderne en révolution*, traduit par Jacqueline Hadamard, Paris, Albin Michel 1961 p. 238.

²⁵³ K. R. POPPER, *La Connaissance objective*, trad. Catherine Bastyns, Complexe, Bruxelles (diffusion PUF), 1978, cité par A. CHALMER, p. 196.

ou en une disposition à se comporter ou à réagir »²⁵⁴. Elle est tributaire du sujet pensant. Alors qu'objectivement, Popper précise que la connaissance est totalement indépendante du sujet pensant. En voulant appuyer l'objectivisme de Popper, Lakatos démontre que,

*La valeur cognitive d'une théorie n'a rien à voir avec son influence psychologique dans l'esprit des gens. La croyance, l'adhésion, la compréhension sont des états de l'esprit humain... mais la valeur objective, scientifique d'une théorie... est indépendante de l'esprit humain qui la crée ou la comprend.*²⁵⁵

La vision métaphysique de la réalité quantique met donc l'accent sur le caractère révolutionnaire du progrès scientifique. En effet, la vision métaphysique de la réalité quantique libère la science de la tyrannie positiviste. Elle le fait, en remettant en cause la place de l'induction dans la découverte scientifique. Au lieu de parler des vérifications d'une hypothèse en science, nous préférons, sous la plume de Popper parler plutôt de « *corroboration* ». Cela parce que l'expérience qui est censée justifier la fiabilité d'une réalité, ne dit jamais oui : elle peut seulement dire non. Pour Popper, « *nous ne disposons pas de critères de la vérité(...), mais nous possédons bien des critères qui(...) peuvent nous permettre de reconnaître l'erreur et la fausseté* »²⁵⁶. De façon claire, la métaphysique dont nous parlons ici est « *expérimentale* »²⁵⁷ selon le concept de Shimony. Il s'agit d'une métaphysique développée à partir d'une vision de la microphysique. En réalité, la matière est très complexe que pour la cerner, le physicien quantique doit tenir compte du principe de l'incomplétude et de l'incertitude.

Par exemple, si on prend l'homme en tant que réalité quantique, il doit être prit simultanément comme « *sapiens/déments, ludens/faber, rationalité et irrationalité, conscient et inconscient, ordre et désordre* »²⁵⁸. De même, il doit être considéré comme une réalité complexe, c'est-à-dire naturel et tout aussi méta-naturel, de nature « *cosmo-physico-sociologique (...), pleinement physique et métaphysique, pleinement naturel et méta-naturel* »²⁵⁹. Finalement, le but de la métaphysique du réel est d'éliminer de manière radicale, la dépendance idéologique et cognitive. La matière est donc complexe et exige une certaine complémentarité de la métaphysique et la physique pour sa possible connaissance. La notion d'interdisciplinarité nous plonge ainsi au cœur des probabilités, de l'incertitude en science.

²⁵⁴ *Ibid.*, p. 198.

²⁵⁵ John Worrall et Gregory Currie, Imre Lakatos. *Philosophical papers, Vol I: The Methodology of scientific Research Programmes*, (Cambridge University Press), 1978, p.1.

²⁵⁶ K.R. POPPER, *Conjectures et réfutations* (1963), traduit par Michelle Irène et Marc B. de Launay, Paris, Payot, 1985, p. 54.

²⁵⁷ M. BOJAWAL, *L'univers en rebond. Avant le big bang*, Paris, Albin Michel, 2011, p. 14.

²⁵⁸ P. ONDOUA OLINGA, « Philosophie et interdisciplinarité. Prolégomènes à un discours de la méthode », Presse Universitaire de Yaoundé, 2012, p. 10.

²⁵⁹ E. MORIN, *La méthode III. La connaissance de la connaissance*, Paris, Seuil, 1986, p. 154.

3- Le phénomène quantique : du probabilisme scientifique

Grâce à la découverte de la physique contemporaine, l'homme a eu une approche complémentaire de la réalité. Nous voulons montrer dans cette sous partie que la matière est bipolaire. Cette bipolarité lui oblige une certaine complémentarité pour sa connaissance. Complémentarité sans laquelle les notions d'incertitude et de probabilité n'auraient pas de sens. Cette nouvelle ouverture vers l'infiniment petit a bouleversé la conception de la matière et a fait « *apparaître de nouvelles figures de la raison non réconciliables* »²⁶⁰. La découverte du principe d'incertitude a permis de reconnaître qu'il y a lieu de repenser la causalité, principe fondamental pour décrire un objet. Cette nouvelle approche de la physique des particules a eu le mérite de faire voler en éclat l'interprétation physicaliste de l'univers qui se prévalait jusqu'alors comme unique en science.

En revanche, la réalité quantique, n'a pas une existence formelle comme en science classique. Pour son succès, la mécanique quantique emprunte les objets mathématiques à savoir les statistiques de probabilités afin d'avoir un résultat physiquement interprétable. A cause de la double nature de l'atome, à la fois onde et particule, il existe bien de corrélations entre incertitude et probabilité. Nous le disons parce que depuis les travaux de Boltzmann et Gibbs sur la matière, il s'est avéré que la connaissance d'un système est rendue possible par la formulation des lois physiques. Par contre, l'humain n'a en réalité que la connaissance superficielle de la nature qui l'entoure. La méthodologie traditionnelle est tombée en désuétude depuis la découverte de la théorie des quanta par les scientifiques. La démarche expérimentale a donné l'opportunité de comprendre qu'il existe un rayonnement à l'échelle atomique et, par ce fait, son énergie est émise de manière discontinue. À partir de là, la relation d'incertitude justifie l'impossibilité d'avoir à la fois la position et l'impulsion qui sont des grandeurs complémentaires. Cette difficulté que présente le phénomène quantique à travers la dualité onde-corpuscule limite notre capacité à saisir la matière dans sa totalité.

Concrètement, cette dualité de la matière à la fois onde et particule, qui se traduit par le rayonnement ne peut seulement être saisi qu'à travers un phénomène statistique. Ainsi, la particularité dans l'observation des éléments atomiques est qu'on ne parle pas d'incertitude au moment de la mesure. C'est donc en raison de cette incapacité à attribuer de grandeurs fixes que les scientifiques recourent aux mathématiques, afin de répondre logiquement à la connaissance des microparticules. Nous pouvons alors affirmer que la relation d'incertitude et

²⁶⁰ W. HEISENBERG, *Physique et philosophie : la science moderne en révolution* (1958), traduit par Jacqueline Hadamard, Paris, Albin Michel 1961, p. 238.

les éléments statistiques de probabilité sont complémentaires et n'interviennent pas seulement au moment de la mesure proprement dit. Aujourd'hui, il est impossible de parler de la nature des particules microscopiques a priori, à cause de leur nature fantomatique.

Le projet de l'humain de parvenir à la connaissance totale du réel a montré ses limites depuis la physique classique. C'est finalement à partir des conventions qu'on tenait certains résultats pour vrais. Toute tentative de prendre la mesure d'un phénomène se solde par une approximation à cause du bruit ou de la perturbation qu'entraîne la présence du sujet, soit l'instrument de mesure. De fait, la connaissance qu'on peut avoir de l'objet mesuré est toujours entachée d'une certaine incertitude. À ce sujet, Bachelard estimait que « *l'objet mesuré n'est guère plus qu'un degré particulier d'approximation de la méthode de mesure.* »²⁶¹ Dans ce contexte, l'incertitude ne se rapproche pas de la probabilité mais plutôt de la méthode parce que le résultat escompté, n'obéit pas aux lois de probabilités.

En outre, le développement de la physique moderne a sonné la fin de l'exactitude en science. C'est dans cette perspective que Popper avance la thèse de la vérisimilarité. Aussi, le système scientifique ne peut être totalement décrit. Cela est dû au fait que la physique atomique vient régulariser en systématisant la physique classique. La description d'une particule élémentaire constituée d'un jeu de variables dynamiques, requiert, nous l'avons montré au chapitre deux, une dualité de représentation mutuellement contradictoire. C'est la thèse de complémentarité émise par Niles Bohr. À partir de là, on réalise que la connaissance des particules relève d'une approximation à partir des variables statistiques. Trin Xuan Thuan et Mathieu Ricard affirment à propos que notre monde actuel, « *se brise. Le temps cesse d'exister. Séparé de son partenaire, l'espace n'est plus qu'une mousse quantique informe. Sa courbe et sa topologie deviennent chaotique et ne peuvent être décrites qu'en termes de probabilités.* »²⁶²

Il est difficile, dans ce contexte, d'envisager une description exacte de la matière microscopique. À cause de la fluctuation permanente il devient quasiment impossible de connaître à la fois la position et la vitesse d'une particule. Étant donné que la relation d'incertitude gouverne les particules, elle est suffisante pour éviter toute contradiction logique entre les différents états de la particule. Ce n'est qu'à partir des statistiques de probabilité que nous pouvons supposer localiser la particule en un point quelconque de l'espace. Écoutons Heisenberg à ce sujet,

Les lois de la théorie quantique doivent être de nature statistique. Voici un exemple : Nous savons qu'un atome de radium peut émettre des rayons α , la théorie

²⁶¹ G. BACHELARD. *Le nouvel esprit scientifique*, (1934) Paris, PUF, 1934, p. 213.

²⁶² T. X. THUAN et M. RICARD, *La plénitude du vide*, Paris, Albin Michel, 2016, p. 46.

*des quanta est capable d'indiquer, par unité de temps le degré de probabilité, pour la particule a, d'abandonner le noyau, mais elle ne peut prévoir le moment précis de cet évènement, lequel est indéterminé par ce principe.*²⁶³

Notre connaissance actuelle nous permet d'avoir la maîtrise des éléments atomiques qu'à travers le formalisme mathématique. La proximité qui existe entre la relation d'incertitude et la probabilité se fonde sur l'incapacité pour l'observateur de fixer l'atome et de lui attribuer une position définitive dans l'espace. En réalité la notion de probabilisme se justifie par l'avènement de l'ordinateur quantique. La prise en charge de la double réalité onde-corpuscule nous permet d'avoir une visibilité sur la matière. Cela nous situe au moins au cœur de la localisation probabiliste dans la mécanique quantique. À partir de là, on peut déjà avoir une conception réaliste de la matière. Ce réalisme n'est pas au sens absolu, mais probabiliste. En dehors de cette opération de mesure, il est impossible de parler objectivement des particules élémentaires.

La physique contemporaine donne l'opportunité de mieux comprendre des questions qui se rapportent à l'échelle de l'être humain. Les sciences du vivant essayent de justifier, à l'aide de la physique quantique, les fluctuations qui occasionnent les mouvements des vivants. À titre d'illustration, le principe d'incertitude préoccupe bien les scientifiques. En l'occurrence, le biologiste Jacques Monod qui pense que l'univers est gouverné par un pur hasard. Ainsi, affirmait-il : « *L'homme est plongé dans l'immensité, dans l'indifférence de l'univers où il a émergé par hasard* »²⁶⁴. Pour ce biologiste, il est impossible de dire avec certitude, pourquoi nous sommes à tel point et non l'autre. De fait, nous avons été habitués à observer les éléments de la nature à partir des conditions initiales et finales, ce qui nous permettait de décrire avec une extrême précision des phénomènes observés. Le probabilisme scientifique semble nous plonger au cœur de la science de l'imprécis. Car, « *le monde n'est pas un laboratoire où les phénomènes sont épurés, isolés, contrôlés, au gré et au loisir de l'expérimentateur qui joue avec eux, pour découvrir une vérité transcendante et incontestable. Tout devient alors probable.* »²⁶⁵

Certes, et, nous l'avons montré au chapitre 3, les théoriciens de la mécanique quantique fondent la connaissance des microparticules sur le principe expérimental. Mais, en convoquant une fois de plus l'expérience des fentes de Young, nous pouvons dire qu'en envoyant un photon

²⁶³ W. HEISENBERG, *La nature de la physique contemporaine* (1953), traduit par Ugné Karvelis, Paris, Gallimard, 1962, p. 48.

²⁶⁴ J. MONOD, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, 1973, p. 37.

²⁶⁵ Abraham A. Moles, *Les sciences de l'imprécis*, Paris, Seuil, mars 1995, p. 16.

sur ces fentes, en l'absence de l'observateur, il est impossible de savoir par quelle fente le photon est passé. Car, en présence de l'observateur, il observe un photon. Son expérience traduit en effet la nature onde-corpuscule du photon et par extension, tous les éléments microscopiques dont la mesure est susceptible de conditionner la particule à se mouvoir. C'est dire finalement que l'observateur qui regarde sur l'écran ne peut que voir des tranches d'interférences, et toute chose confirmant la double nature des particules. De fait, tout se passe comme si on était dans une physique de l'impossible. Constatant cela, Michio Kaku, dans *La physique de l'impossible* a pu relever que « nous ne pouvons-nous fier à nos yeux si notre imagination n'a pas fait la mise au point. »²⁶⁶. De son avis, aucune mesure ne peut suffire à dévoiler tout le mystère de la nature. La mesure ne nous livre qu'un résultat approximatif. Ce résultat peut se concevoir essentiellement qu'à partir d'une casquette probable. L'homme se retrouve dans un monde où « tout ce qui existe dans l'univers est le fruit du hasard et de la nécessité. »²⁶⁷

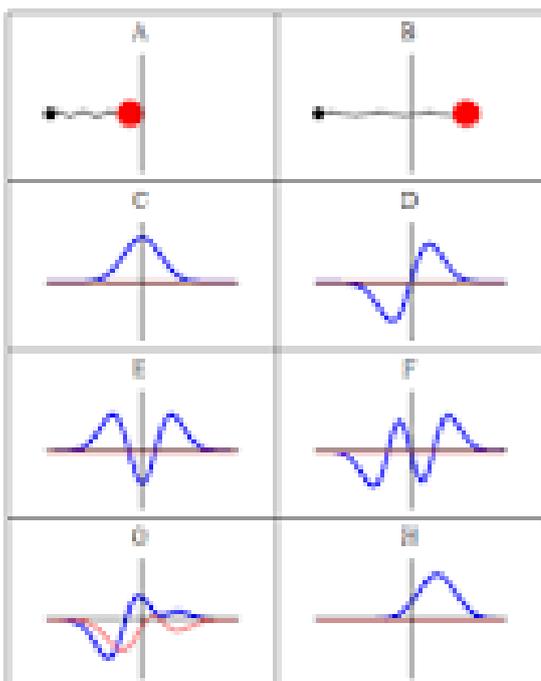
Tout compte fait, la particule n'existe que lorsque nous l'observons. C'est donc dire que les propriétés qui se manifestent dépendent finalement de la manière avec laquelle nous l'observons. S'il est vrai que la particule se manifeste à certains égards comme une onde, et à d'autres égards comme un corpuscule, on peut alors conclure que la physique contemporaine est un lieu riche de probabilités. On ne peut plus prétendre maîtriser la matière dans toutes ses dimensions. La spécificité de la matière devient une réalité probabiliste. Probabiliste parce que le sujet même modifie la mesure. C'est le cas du battement de l'ail papillon qui peut modifier la structure fondamentale d'un phénomène, de la vitesse de la lumière. Nous sommes là à peu près dans la possibilité de tirer une boule verte, par exemple dans un sac contenant dix boules de plusieurs couleurs. La question principale peut être celle de savoir la probabilité de tirer une boule verte sur 10. Soit, 1 / 10. Au moins, on parviendra à tirer une dans 10, mais quelle stratégie mettrons-nous pour ne sélectionner que la boule verte demandée par exemple ? Il nous faudra peut-être analyser la fécondité théorique de la philosophie de Schrödinger sur la matière pour trouver des réponses à ces préoccupations.

²⁶⁶ M. KAKU, *La physique de l'impossible* (2008), traduit de l'américain par Céline Laroche, Paris, Seuil, 2011, p. 31.

²⁶⁷ Démocrite cité par J. MONOD, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, 1973, p. 10.

CHAPITRE VIII : LA FÉCONDITÉ THÉORIQUE DE LA CONCEPTION SCHRODINGERIÈNE DE LA MATIÈRE A L'ECHELLE QUANTIQUE

Dans ce chapitre, il est question pour nous de montrer en quoi la conception de l'auteur de *Physique quantique et représentation du monde* a influencé la communauté scientifique. Comment cette conception a-t-elle révolutionnée la conception du réel scientifique ? Pourquoi Calcule-t-on la fonction d'onde dans l'équation de Schrödinger ?



La fonction d'onde est calculée à l'aide de l'équation de Schrödinger. Par exemple dans un puits de potentiel, la fonction d'onde d'une particule est une onde sinusoïdale stationnaire dont la longueur d'onde est un multiple de la largeur du puits. A partir de ces interrogations, on constate qu'on ne peut plus avoir à faire aux faits, encore moins à l'objet, mais désormais au phénomène quantique.

1- L'adaptation de la recherche aux fondamentaux de la physique quantique

Dans cette sous partie, nous voulons montrer que l'adaptation de la recherche aux fondamentaux de la physique moderne n'est rien d'autre que la dilution du langage. Nous le disons parce que dans la mécanique quantique, on a désormais à faire à des concepts tels que la décohérence, la probabilité, l'incertitude, la démesure, l'indéterminisme, la complémentarité et

bien d'autres... En effet, on va dépasser les fondamentaux de la science classique, pour désormais adapter la physique moderne à ces principes. En microphysique aujourd'hui, l'homme ne peut plus observer comme s'il était un simple espion, sans être vu.

Historiquement, si la prédiction des phénomènes reste le point de départ en physique classique, il faut dire que la connaissance de la matière, mieux du réel scientifique dépend d'une hypothèse probabiliste dans la mécanique quantique. De fait, lorsqu'un chercheur connaît l'état d'un système à un instant donné, il peut savoir que les forces de l'univers qui s'entremêlent, peuvent l'empêcher de prédire fondamentalement les phénomènes. Nonobstant cela, il arrive quand même à calculer la probabilité possible du système. Il est démontré aujourd'hui que les savoirs scientifiques prouvant la véracité des multivers nous imposent une certaine reconsidération de notre rapport à l'histoire du monde. Désormais, pour réaliser les prédictions, nous sommes obligés de calculer les probabilités correspondant aux divers états actuels de tout l'univers. Écoutons Jean Pierre Yméle à ce sujet,

La mécanique telle qu'elle s'est développée entre 1924 et 1927 a pris la forme d'une théorie abstraite dont le rapport au réel physique avait perdu l'évidence apparente qui caractérisait la science classique. La question de la signification et de l'interprétation du formalisme et des concepts utilisés, dans leurs relations aux éléments physiques observables, devint d'autant plus préoccupante que la précision et la fécondité de ce formalisme contrastaient avec une radicale remise en question des principes de la physique classique familiers à la pensée. Les relations d'indétermination, l'onde associée au corpuscule ou l'onde de probabilité, l'équation de Schrödinger.²⁶⁸

À partir de là, on comprend la confirmation de la place de l'incertitude dans la recherche scientifique. Il n'est donc plus question d'une objectivité au sens absolu du terme. Car, « *en physique quantique, on ne peut établir une distinction nette entre le système étudié et les moyens d'observation, et par conséquent faire abstraction de ces derniers dans la conception du phénomène à l'échelle atomique.* »²⁶⁹

En philosophie par exemple, plusieurs courants de pensées peuvent servir d'explication pour une énigme. Cependant certains d'entre eux sont plus probables que d'autres. Dans notre quotidien, la physique mécanique nous apprend que notre univers n'a que trois dimensions de l'espace et une du temps. L'hypothèse selon laquelle l'univers a onze dimensions dont dix de l'espace et une du temps peut paraître absurde aux yeux de plusieurs. Or de façon probabiliste, toute « *valeur possible du nombre de grandes dimensions, de zéro à dix, correspond à une*

²⁶⁸ J.P. YMELE, « Le principe de complémentarité. 70 ans après : le rôle des objections d'Einstein dans la crise du paradigme », in *Mâat. African philosophical Review*, n°2, 2000, pp. 33-62, p. 34.

²⁶⁹ *Ibid.*, p. 40.

amplitude de probabilité. »²⁷⁰ Il est vrai, qu'en répliquant on peut affirmer que,

*Parler de la probabilité quantique que le nombre de dimensions d'espace de notre univers soit supérieur ou inférieur à trois n'a aucun sens, car l'on sait déjà que nous vivons dans un univers à trois grandes dimensions d'espace. Peu importe donc la valeur exacte de cette amplitude de probabilité comparée aux amplitudes des autres nombres de dimensions, pourvu qu'elle soit nulle.*²⁷¹

Selon la relativité, rien ne peut se déplacer plus vite que la lumière. Nonobstant, dans les scénarios astronomiques les plus prudents, on estime que « *l'inflation cosmologique s'était produite à une vitesse de 0.00000000000000000000000000000001 seconde* »²⁷².

De façon schématique, nous sommes dans un monde à double comportement : corpusculaire et ondulatoire. Il a fallu de propos très acerbes entre Heisenberg et Schrödinger, nous dit Marc de Lacoste, pour qu'on arrive à la conclusion d'une situation double. En rapportant les faits, l'auteur de, *Une philosophie pour la physique quantique* précise que Heisenberg a écrit : « *plus je considère la partie théorique de Schrödinger, plus elle m'apparaît répugnante.* » et Schrödinger de son côté : « *la lecture des écrits de Heisenberg m'a rebuté, sinon dégoûté.* »²⁷³ De fait, cette opposition va durer jusqu'à ce qu'Erwin lui-même explique, à la fin de 1926, l'équivalence mathématique des deux voies. Par un formalisme construit par Dirac, l'apaisement sera total. De façon claire, les deux physiciens et philosophes ont eu l'idée d'abandonner le principe de correspondance, et de retenir plutôt la double nature, ondulatoire et corpusculaire, des objets microscopiques et d'en faire une synthèse. La mécanique des matrices pour Heisenberg et la mécanique ondulatoire pour Schrödinger.

De plus, la nécessité d'un nouveau formalisme en physique quantique est soulignée par le Schrödinger. Dirac écrivait dans son *Traité de Mécanique quantique* : « *la différence entre la mécanique quantique et la mécanique classique trouve son expression dans l'introduction de formalismes nouveaux, de nouvelles formes d'axiomes et de règles de calcul.* »²⁷⁴ En effet, la mécanique quantique introduit l'hypothèse d'une interconnexion d'un type nouveau entre les états d'un système en mouvement et les grandeurs physiques qui lui sont attachées. Le nouveau cadre devient une théorie physique des populations extrêmement nombreuses. Les moyens expérimentaux actuels permettent d'étudier des particules élémentaires une à une. Même dans

²⁷⁰ S. HAWKING et L. MLADINOW, *Y a-t-il un grand architecte dans l'univers*, Paris, traduit par Odile Jacob, 2014, p. 124.

²⁷¹ *Ibid.*, p. 174.

²⁷² M. M. NGOUWOUO, *op. cit.*, p. 128.

²⁷³ M. LACOSTE LAREYMONDIE (de), *Une philosophie pour la physique quantique. Essai sur la non-séparabilité et la cosmologie de A.N. Whitehead*, Paris, L'Harmattan, 2006, p. 39.

²⁷⁴ *Ibid.*, p. 42.

ce cas, on constate le caractère indéterministe de ces particules, c'est-à-dire que dans des conditions initiales identiques elles n'engendrent pas les mêmes conséquences. Nous le disons parce que la désintégration d'atomes radioactifs, pourtant tous semblables, se fait à des rythmes différents, émet des particules possédant un spectre d'énergie dans des directions variées. Ce n'est donc qu'une mesure statistique qui permet de lui attribuer des propriétés : on parle alors de la demi-vie d'un atome. Une autre caractéristique du formalisme quantique c'est l'emploi des nombres complexes. Roger Penrose dans *Les Ombres de l'Esprit* rappelle que le concept de nombre complexe a été découvert par le médecin mathématicien italien Jérôme Cardan (1501-1576).

Alors que la physique classique considère des objets dotés de propriétés, la physique quantique fait plutôt référence à des « systèmes »²⁷⁵. Ces systèmes ne sont pas simplement des ensembles complexes comme des instruments de mesure à l'échelle macroscopique, mais aussi les molécules, les atomes et leurs constituants : électrons, neutrons et photons. Les états quantiques sont représentés par les objets mathématiques abstraits que sont la fonction d'onde ou le vecteur d'état. En réalité, la physique quantique est probabiliste, c'est-à-dire que ses prévisions s'appliquent à des ensembles de phénomènes et non à des phénomènes individuels. Ce caractère probabiliste, il faut le dire, ne tient pas seulement au fait que les expérimentations ne sont généralement réalisées que sur la bipolarité de la matière.

Le caractère linéaire de l'équation de Schrödinger entraîne une nouvelle caractéristique de la physique quantique : son principe de « *superposition* »²⁷⁶. Si deux fonctions d'onde possibles sont solution de cette équation. On considère en effet l'énergie totale d'une particule comme étant la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle. De plus, cette particule est considérée comme ayant une vitesse faible par approximation non relativiste. L'équation de Schrödinger est déterministe, c'est-à-dire qu'elle décrit l'évolution d'une fonction d'onde en fonction du temps, compte tenu des conditions initiales. Cette situation peut paraître curieuse puisque la physique quantique est probabiliste. Disons plutôt que l'apparition de certains phénomènes est probabiliste, mais que l'enchaînement des conséquences de cette apparition se fait en fonction de lois qui sont déterministes. De fait, le principe de superposition est bien rendu par la mécanique ondulatoire et l'équation de Schrödinger. Il permet d'expliquer presque tous les phénomènes atomiques et moléculaires qui se produisent dans notre monde où les processus de création et d'annihilation de particules sont relativement rares. Écoutons Michel Bitbol : « *Le premier grand renoncement auquel Schrödinger nous invite à consentir,*

²⁷⁵ *Ibid.*, p.44.

²⁷⁶ *Ibid.*, p. 46.

avec des implications plus radicales qu'aucun autre physicien n'a osé en imaginer, concerne le concept classique de corpuscule individuel et permanent. »²⁷⁷

En définitive, pour une interprétation réaliste de la matière il faut adapter les fondamentaux de la physique quantique sur tous les dimensions du réel. En le faisant, on intègre alors les caractéristiques de la science moderne que sont : l'incertitude, la probabilité, la complémentarité et l'indéterminisme. Tout cela nous conduit vers une objectivité modérée. En considérant la lecture ondulatoire de la matière, Schrödinger nous prépare ainsi à la lecture du chat. Lecture qui consiste justement à montrer de la façon la plus frappante possible l'impossibilité de « *cantonner le flou* »²⁷⁸ au domaine atomique, ou microscopique. Cependant, pour éviter l'incomplétude, ne faut-il pas prendre en compte la double nature du réel à la fois proche et lointain dans la physique des particules ?

2- Vers une transitivity entre le réel lointain et le réel proche (énergie et masse)

Il s'agit pour nous de montrer comment la microphysique a révolutionné toute notre conception du réel. En le faisant, elle a permis de comprendre la matière à une échelle double. Double parce qu'elle ne se comprend pas essentiellement à partir de l'énergie, ni fondamentalement à partir de la masse. C'est une sorte de fusion des deux intenses qui permet une forte probabilité de trouver l'électron à tel endroit et non à tel autre, mais jamais les deux à la fois.

Grâce à la physique atomique, l'on parvient désormais à résoudre plusieurs problèmes qui étaient autrefois impossibles. L'exemple sur l'étude de la nucléosynthèse primordiale à travers les accélérateurs moderne permettant de constater tel corps contient des énergies de quelques millions d'électronvolts en démontre plus. De plus, l'exploration suivie de la confirmation en laboratoire du projet de l'unification des forces électrofaibles en est autre illustration. Avec les recherches de l'astrophysicien américain, l'on note que pendant l'inflation, l'univers se soumet à des opérations de symétries entre les forces. Il s'agit en effet de comprendre que, lorsque la température descend au-dessus de mille trillions de degré, soit (10^{15} K), l'on constate une transition de phase. Cela entraîne la brisure de l'électrofaible. Il faut le dire, cette brisure impacte le comportement des forces de sorte que la force faible « faiblit » progressivement et se manifeste à l'échelle microscopique. Ces forces faibles, invisibles dans

²⁷⁷ E. SCHRÖDINGER, *Physique quantique et représentation du monde*, introduction et notes par Michel Bitbol, Paris, Seuil, 1992, p. 11.

²⁷⁸ M. BITBOL, « physique quantique, apparences et réalité », in *Le monde quantique. Les débats philosophiques de la physique quantique, sous la direction de Bernard d'Espagnat et Hervé Zwirn. Ed Matériologiques*, avril 2014, p. 63.

notre monde sont celles qui habitent l'univers fantôme ou virtuel. En réalité, à l'échelle de 10^{15} K, les particules de la matière que sont : les électrons, les neutrons, les quarks acquièrent des masses probablement observables à travers nos instruments de mesure. Pour mieux comprendre pourquoi toutes nos convictions d'observation du mouvement de l'univers à l'échelle de l'infiniment petit sont vouées à l'échec, une analyse de la psychologie des physiciens de la période où l'on est passé de la physique classique à celle quantique est une nécessité. En effet, il s'agit d'une analyse du débat Bohr-Einstein sur la question de la réalité en physique contemporaine. Il est question ici de revenir sur l'examen du statut de la théorie de la relativité par rapport à la perspective quantique dans un univers qui semble bouleverser les physiciens.

Albert Einstein était animé par l'intuition conduisant à des équations fixes en physique. Cela faisait de lui le physicien le plus déterministe de son époque. Il n'a jamais, à cet effet, cessé de penser que « *Dieu ne joue pas aux dés* »²⁷⁹. Cette conviction a été immédiatement remise en cause par le physicien Niels Bohr. Ce dernier démontrait que Einstein commettait un péché en voulant dire à Dieu ce qu'il a à faire. Curieusement, Albert Einstein aurait été abandonné par son Dieu qui l'avait guidé vers les plus grands succès. Selon François de Closets, les agents qui ont facilité la trahison du génie allemand sont « *les diables qu'il a fait surgir des mondes souterrains : les quanta* »²⁸⁰. Il s'agit des quanta élémentaires de matière et d'électricité.

Le développement de la mécanique quantique impose, nous l'avons montré au chapitre six, de revisiter notre conception de l'univers. La détection des ondes gravitationnelles nous donne des arguments pour s'inscrire dans le prolongement selon lequel le réel est voilé. On ne peut plus se passer de la dualité énergie-masse, ou du réel lointain et le réel proche. Désormais, une fusion onde-particule donnerait mieux la forte probabilité de parler avec la certitude de connaître la matière. Nous ne parlons pas de certitude, au sens classique du terme. Constatant cela, le physicien John Wheeler estime que « *la matière dicte la courbure de l'espace et l'espace dicte le mouvement de la matière.* »²⁸¹ Les implications de cette découverte en physique moderne peuvent permettre une fois de plus aux scientifiques d'avoir les outils nécessaires pour parler avec certitude de l'ADN de notre univers. À partir même de là, il est possible de justifier que nous ne sommes pas les seuls occupants, il existe plusieurs galaxies qui meublent notre système solaire.

Avec l'adaptation des recherches aux fondamentaux de la physique quantique, on se

²⁷⁹ M. ONFRAY, *Cosmos. Cosmos. Une Ontologie matérialiste*, Paris, Flammarion, 2015, p. 501.

²⁸⁰ F. CLOSETS (de), *Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire*, Paris, Seuil, 2004, p. 317.

²⁸¹ M. KAKU, *op.cit.*, p. 236.

compte que notre conception du réel a totalement changé. La réalité est visible non plus essentiellement dans la dimension microscopique, ni macroscopique, mais les deux à la fois. On ne peut donc plus comprendre le réel dans sa seule dimension macroscopique. Le réel dévoile désormais sa double dimension, à la fois proche, c'est-à-dire ce qu'on peut observer à l'échelle macroscopique, et lointaine, dont ce qu'on peut observer dans la dimension microscopique. Nous voulons par exemple dire que la partie décimale peut modifier le résultat d'un calcul. Cela nous rappelle la théorie de débattement de l'ail papillon, pouvant modifier la trajectoire de la lumière. Dirac démontre que le traçage d'une même courbe à partir des données bien expérimentées à l'échelle macroscopique et à l'échelle quantique de l'ordinateur nous donne deux figures différentes. À mains levée, on peut avoir une courbe qui n'aura rien à voir avec celle tracée par l'ordinateur. Car, celui-ci (ordinateur) va désormais tenir compte des centimes de millièmes de positions de décimètres négligés. Or, avec la main on est appelé à arrondir soit par défaut soit par excès. En réalité, la prise en compte des fondamentaux de la physique quantique impose, ou alors justifie la connaissance du réel dans sa double dimension. Et, cette double dimension nous situe au cœur de l'indéterminisme, fonction de la physique moderne. Convaincu de cela, De Broglie montrait que « *le grand drame devenu victoire de la microphysique contemporaine a été, vous le savez, la découverte de dualité des ondes et des corpuscules* »²⁸².

En réalité, la prise en compte de cette dualité nous conduit inéluctablement à une connaissance probabiliste de la matière. Une connaissance qui nous tend vers le dévoilement de la véritable nature du réel. À partir de là, l'idée selon laquelle la matière présenterait seulement quatre dimensions (la hauteur, la largeur, la longueur et le temps) demeure obsolète. Nous le disons parce qu'il est démontré en physique moderne que la matière présente plusieurs dimensions à savoir : le potentiel, le temps, l'espace, la courbe, la longueur, la largeur, la position et bien d'autres. On a jusqu'à onze dimensions qui se réduisent généralement en seulement sept. À partir donc de la dualité de la matière, on parvient finalement à cerner le réel dans ces différentes dimensions. Écoutons Staune : « *l'énergie de l'univers est répartie de la manière suivante : 70% d'énergie noire, 26% de matière noire et 4% de matière normale (...) Tout le reste est constitué de matière et d'énergie invisibles d'un type radicalement différent.* »

283

Ce qu'il faut comprendre ici, c'est que l'énergie du vide occupe une place aussi

²⁸² L. BROGLIE (DE), Conférence prononcée au Centre International de Synthèse, le 31 octobre 1952, au cours de la XVIIIe semaine de synthèse.

²⁸³ J. STAUNE, *Notre existence a-t-elle un sens ? Une enquête scientifique et philosophique*, Paris, Tredaniel, 2018, p. 181.

importante dans l'univers. L'énergie est vitale pour la civilisation, en effet. L'histoire renseigne que depuis les sociétés primitives, l'humain a toujours eu recours à l'énergie pour accomplir ses besoins vitaux. Avec la découverte du charbon, l'humanité a fait l'économie de l'énergie. La révolution industrielle était à la base de la construction des premières villes. En effet, les progrès scientifiques et techniques ont favorisé une grande montée en puissance dans la conservation et la maîtrise de l'énergie. Tout compte fait, la découverte de l'infiniment petit a favorisé la découverte d'autres types d'énergies qui entourent notre univers, en l'occurrence l'énergie noire. De fait, dans la physique moderne, avec la prise en compte de la double dimension de la matière : onde-particule, on peut prévoir les phénomènes avec une certaine probabilité. On peut à partir de là attribuer le corpuscule à lumière. La probabilité avec laquelle on peut prédire les phénomènes tient du fait de la prise en compte des fondamentaux de la physique quantique. Cette prévision nous situe au cœur de la prédiction, de la chance pour la science à expliquer mieux les caractéristiques de la matière.

3- Le paradigme quantique : une chance pour la recherche de la précision en science

Nous voulons montrer dans ce chapitre qu'à partir de la double dimension qui caractérise désormais le réel, on peut dire qu'on a la possibilité de connaître le réel de façon approchée. Et cette connaissance rapprochée du réel se présente comme une chance pour le scientifique. Nous parlons de chance parce que le scientifique sait désormais qu'il ne peut plus se tromper en utilisant un discours fort dans la construction du réel. Il va désormais utiliser un discours modéré. Et la modération de ce discours permet de se rapprocher de plus en plus de la vérité. Trin Xuan Thuan pense pour cela que l'univers ne se dévoile pas à nous dans sa totalité. Nous ne pouvons donc pas connaître le réel de façon objective, mais nous le connaissons quand même de façon approximative. C'est cette connaissance approximative qui se présente comme une chance. Chance parce que désormais, sachant que notre conception du réel a été modifiée, sachant que la matière n'est plus une brique élémentaire, telle que penser dans la physique classique, mais désormais un phénomène ou une construction, alors l'homme peut donc avoir une connaissance approximative de la matière. Il n'a plus à avoir une illusion de la connaissance.

Concrètement, la physique quantique fragilise le matérialisme qui soutient que la réalité profonde est de nature matérielle. Pourtant, notre observation sur le monde macroscopique présente des phénomènes apparemment statiques, perceptibles par tous. En réalité, le monde tel qu'il se présente à nous est constamment en mouvement. Cette pseudo stabilité perceptible sur le plan macroscopique est présentée par les physiciens par la décohérence. Nous le disons parce

qu'il n'y a pas de stabilité pour des phénomènes physiques. La description classique faisant des corps une réalité locale est tombée en désuétude et n'a aucun fondement méthodologique. Cela nous amène à conclure que tout corps en mouvement ou non émet un rayonnement. Il se trouve alors que c'est lors de la mesure qu'on s'aperçoit de la stabilité d'un corps. La physique moderne montre qu'il y a toujours perturbation lorsqu'un procède à la mesure. Par-là, nous voulons dire qu'aucun corps n'est isolé. Dans cette perspective, pour apporter sa contribution dans la compréhension de la nature de la matière, Serge Haroche s'appuie sur l'hypothèse de Schrödinger, attribuant à la matière une dimension relevant de la philosophie parméniéenne à *savoir le chat mort, le chat vivant. L'être est, le non être n'est pas*. De manière expérimentale, Serge Haroche et son équipe ont réussi en 2007 à mettre en évidence les interférences résultantes de la superposition quantique des états. Dans son étude, il a pu observer les atomes et a vu en direct le passage du monde classique au monde quantique.

Historiquement, depuis sa naissance en 1900, la physique quantique n'a cessé de se développer pour devenir la source la plus importante d'applications, industrielles ou autres, conçues d'après son premier principe, la discontinuité, qui reflète la quantification. Franck Laloë estime que « *de toutes les théories scientifiques, la mécanique quantique est probablement l'une des plus couronnées de succès* »²⁸⁴. La dynamique impulsée par les révolutions scientifiques nous amène aujourd'hui à réexaminer par une approche purement scientifique les questions qui furent longtemps réservées à la cosmologie spirituelle. Il s'agit notamment des problèmes de sens du monde, de l'existence et du devenir. Comme on peut le constater, les mutations scientifiques en cours semblent rompre de façon radicale avec les conceptions métaphysiques qui envisageait l'univers comme essentiellement déterministe et comme une œuvre créatrice et donc achevée. À titre d'illustration, le créationnisme et plus loin les conceptions antiques de l'univers, pour lesquelles, « *le réel était déterminé seulement par des lois naturelles appliquées à des conditions initiales particulières, mais aussi moulé et façonné par une suite d'évènements contingents et historiques qui peuvent bouleverser la réalité à son niveau le plus profond.* »²⁸⁵ Sont plus que jamais problématiques pour la compréhension d'un univers changeant, toujours en devenir.

Étant désormais admis d'une part, que c'est vers la science qu'il faut se tourner plutôt que vers tout autre discours mythologique pour parler de l'univers, et d'autre part, que c'est précisément de la science moderne, différente de celle classique, plus précisément celle basée

²⁸⁴ F. LALOË, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique?*, Paris, CNRS Editions, 2017, p. 2.

²⁸⁵ T. X. THUAN, *Le chaos et l'harmonie. La fabrication du réel*, collection « le temps des sciences », Paris, Fayard ; 1998.

sur la nouvelle physique qu'il faut s'inspirer pour pouvoir véritablement discourir sur l'univers, il convient de s'interroger sur la portée épistémologique de celle-ci. En fait, à travers les découvertes enregistrées pendant cette deuxième période de l'histoire des sciences, les interprétations que nous offre la science, et plus précisément la physique quantique sur l'univers s'avèrent toutes révolutionnaires, rompant radicalement avec les convictions qu'on se faisait au sujet de l'univers, de l'homme et de son devenir. C'est ce qui justifie notre interrogation sur la crédibilité du discours scientifique sur la matière.

Si pour les classiques, l'univers est sans aucun doute de nature harmonisée, et surtout régit par le principe de causalité qui veut que toute chose résulte nécessairement d'une succession de causes scientifiquement déterminables, la découverte de la mécanique quantique au début du XXème siècle rend cette vision du monde difficilement défendable. Avec la découverte de la mécanique quantique, on sait désormais qu'il existe de l'inexprimable, des indémonstrables et invérifiables dans le réel. C'est ce qui justifie le fait que la réflexion épistémologique actuelle est soucieuse de la prise de conscience de la dimension incertaine du réel. Les révolutions scientifiques dont le fondement repose sur la nouvelle façon de voir et de penser l'univers nous invitent aujourd'hui à revisiter systématiquement nos conceptions sur la matière.

S'il est vrai comme le stipule Issoufou Soulé Mouchili Njimom que le pouvoir explicatif de la science semble être la voie idoine pour nous édifier sur le principe qui aurait déterminé l'univers²⁸⁶, il est de bon droit de préciser aussi que grâce à la maîtrise des lois de la physique et surtout aux avancées de l'astrophysique, l'univers deviendra une colonie de l'homme. Le degré justificatif de ce postulat est élevé à telle enseigne que l'homme est considéré comme le créateur de l'univers. L'exclamation de Trinh Xuan Thuan : « *et l'homme créa l'univers* »²⁸⁷ justifie l'hypothèse d'un homme-créateur. Il faut dire que la science, et particulièrement la physique quantique contraint l'homme à épouser de nouvelles normes à partir desquelles il doit penser son existence et son devenir. Comme on peut le constater, l'implication du principe d'incertitude en science n'est pas selon Trinh Xuan Thuan un obstacle. Fervent disciple du principe anthropique, il pense que l'univers fut façonné tel qu'il devait nécessairement aboutir à l'état de complexité qu'on lui connaît à savoir l'émergence de la conscience humaine, une conscience capable de comprendre le monde qui l'a engendré. Le monde serait selon lui de façon nécessaire, et sa structure, dans la plus profonde de ses

²⁸⁶ I. S. MOUCHILI NJIMOM, *De la signification du monde et du devenir de l'existence*, Paris, L'Harmattan, 2017, p. 18.

²⁸⁷ Sous-titre de son ouvrage *La mélodie secrète. Et l'homme créa l'univers*, 1988.

organisations le produit de la précision d'un puissant architecte qu'il nomme dieu- nature. Trinh Xuan Thuan rompt ainsi avec toutes les conceptions postulant la thèse du hasard comme principe rendant compte du réel. Nous savons avec Koyré que « *le principe d'observabilité confirme le caractère relatif du mouvement et de l'espace, et dont de la matière.* »²⁸⁸

En réalité, le hasard n'a aucune place dans son système car tout phénomène à une cause, laquelle nous est accessible. S'annihile ainsi toute possibilité d'implication du hasard dans l'univers. Autrement dit, la position aristotélicienne d'une nature incréée repose sur le principe hippocratique selon lequel « *le hasard quand on en vient à l'examiner se trouve n'être rien. Tout ce qui se fait à une cause certaine, et celle-ci en a une autre qui l'a produite. On ne voit point que le hasard puisse exister dans la nature. C'est seulement un nom* »²⁸⁹. L'objectivité se limite ici à l'observation et à la croyance aveugle à une nécessaire succession uniforme des événements de la nature. Dans ce contexte, à partir d'un certain nombre de lois physiques, on peut parfaitement connaître l'histoire toute entière et le futur d'un système. C'est ce que traduisent ces propos de Louis De Broglie :

*pour le physicien, il y a déterminisme lorsque la connaissance d'un certain nombre de faits observés à l'instant présent et aux instants antérieurs jointe à la connaissance de certaines lois de la nature lui permet de prévoir rigoureusement que tel phénomène aura lieu à telle époque postérieure*²⁹⁰.

Le type d'objectivité régnante dans la science classique est une objectivité au sens fort du terme. Suivant Bernard d'Espagnat, un énoncé scientifique est au sens d' « *objectivité forte* » si « *sa formulation ne fait intervenir que les objets même sur lesquels il porte, sans aucune référence au sujet qui connaît, ou acquiert, ou vérifiera son contenu* »²⁹¹.

Dans le contexte moderne, l'objet est construit par le sujet, et il n'est plus question d'objet, mais de réel, puisque l'objet n'est plus perçu comme une fin en soi tel que c'était le cas dans la science classique. La perception qu'on avait de l'homme dans la science classique était réduite à ce qu'on pouvait percevoir en l'observant de l'extérieur. On ne pouvait imaginer que le cerveau était à même de participer à sa connaissance. Avec l'avènement en 1905 de la relativité d'Einstein puis de la mise en place de la relativité restreinte et enfin le dépassement de la physique newtonienne dominante pendant des siècles, la vision générale du monde a connu un changement paradigmatique qui a impacté fortement la structure et la texture des

²⁸⁸ A. KOYRE, *Du monde clos à l'univers infini* (1957), traduit par Raïssa Tarr, Paris, PUF, 1962, p. 318.

²⁸⁹ HIPPOCRATE, repris par H. BRENLY, « Hasard et science », in *Revue des questions scientifiques*, t. 153 (1), Janvier 1982, p. 31.

²⁹⁰ L. BROGLIE (de), *Continu et Discontinu*, Albin Michel, Paris, 1980, p. 80.

²⁹¹ B. ESPAGNAT (d'), *Traite de physique et de philosophie*, Paris, Fayard, 2002, p. 110.

connaissances scientifiques avec l'adoption des concepts nouveaux tel celui de l'indéterminisme. Il est introduit en 1927 par Werner Heisenberg, avec son principe d'incertitude qui veut qu'en science une certaine marge d'erreur soit admise dans les résultats finals car « à chaque instant, la particule, même non observée, a une certaine probabilité de se trouver en tel ou tel lieu »²⁹². C'est la raison pour laquelle les résultats sont approximatifs. Ainsi, malgré la puissance expérimentale et instrumentale de la science moderne, on trébuche encore et toujours sur des obstacles qui mettent en branle sa connaissance certaine du réel, en raison du fait qu'il est impératif d'accepter que la prévision comporte toujours une marge d'erreur. Néanmoins, les physiciens s'entêtent à « poser égale à 0 des influences essentielles et à construire à partir des données réelles une idéalisation qui sera conforme à celle-ci sur un tel ou tel point mais qui en différera sur d'autre qu'il juge important en ce qui concerne les phénomènes qu'il se propose d'étudier »²⁹³.

Dans ce contexte, la physique repose sur un principe d'objectivité faible qui met en jeu la notion d'observateur, permettant à n'importe quel observateur d'aboutir aux mêmes valeurs de vérité sur un énoncé donné. Ainsi « sauf à récuser la ligne de recherche majeure de la physique d'aujourd'hui au profit d'un de ces modèles ontologiquement interprétables (...) il faut bien dire que l'objectivité seulement faible apparaît comme étant un des traits saillants de la physique contemporaine »²⁹⁴. Par ailleurs, le principe d'incertitude implique que l'univers obéit au libre jeu du hasard et de la nécessité. On a l'impression que la physique quantique a uniquement fait fi du déterminisme universel tout en conservant le déterminisme régional. Autrement dit, le déterminisme régional s'avère être un principe incontournable pour bon nombre de phénomène. Aujourd'hui avec la physique quantique, on sait que les mêmes causes réunies dans les mêmes conditions sont susceptibles de produire des effets divers. Ainsi, aucune loi causale n'est de mise, de même qu'une prévisibilité absolue. Désormais, établir une vérité scientifique ne relève ni de la croyance ni de la seule expertise expérimentale, compte tenu de l'impossibilité d'une saisie totalisante de comportement des nano-phénomènes : « Ce qui différencie fondamentalement la métaphysique quantique de la physique classique, ce n'est pas tant la présence de la probabilité dans ses axiomes que le fait que cette mécanique n'est pas descriptive, mais bien seulement prédictive »²⁹⁵. C'est-à-dire que malgré le caractère probabiliste de la physique quantique, il existe une grande aptitude à faire des prévisions objectives.

²⁹² *Ibid.*, p. 110.

²⁹³ *Id.*, *A la recherche du réel*, Paris, Fayard, 1994, pp. 176-177.

²⁹⁴ *Id.*, *Traité de physique et de philosophie*, Paris, Fayard, 2002, p. 111.

²⁹⁵ *Ibid.*, p. 128.

Dans la même perspective, Claude Allègre dans son analyse du problème du mystère lumineux a constaté que, « *toute la physique et la chimie moderne sont dominées depuis bientôt cent ans par ce qu'on appelle la mécanique quantique qui joue vis-à-vis de la physique de l'infiniment petit, celle des atomes et des molécules, le même rôle qu'a joué la mécanique classique, celle de Newton.* »²⁹⁶

Avec la découverte des phénomènes quantiques, il est désormais impossible de mesurer à la fois, et avec extrême précision les grandeurs corpusculaires telles que la position et le mouvement. Cette impossibilité de mesurer la totalité du réel lors d'une expérience amène les physiciens à s'interroger sur la pertinence des vérités scientifiques. En effet, malgré le degré de précision et le niveau de sophistication des instruments et des méthodes d'approches du réel, on constate que les résultats comportent toujours une marge d'erreur puisque les particules n'obéissent pas aux lois déterministes. Il est impératif de comprendre ici Alexandre Hertz suivant les pas de Rutherford et Maxwell que « *le système noyau-électron n'est pas stable contrairement au système soleil-planète maintenu par la faible force de la gravité* »²⁹⁷. Aujourd'hui, dans le système et la logique des sciences modernes « *tout est gouverné par le calcul des probabilistes. Le monde de l'infiniment petit est probabiliste, intrinsèquement indéterminé* »²⁹⁸

Ainsi, la physique microscopique introduit des bouleversements considérables à telle enseigne que les grandeurs du réel ne sont plus absolues, car,

*la particule a cessé d'être la brique élémentaire de l'univers pour devenir une notion frontière entre le concevable (l'onde, le corpuscule et le quark) et l'inconcevable, le concevable étant lui-même soumis à une inévitable contradiction entre les termes désormais complémentaire d'onde et de corpuscule, d'unité élémentaire et d'inséparabilité*²⁹⁹.

Dès lors, on remarque l'impossibilité d'aboutir avec la précision souhaitée à une appropriation conjuguée des grandeurs recherchées. C'est -à -dire que le principe d'incertitude implique nécessairement une interprétation probabiliste de la réalité quantique, en raison de la bi-dimensionnalité des molécules et leur refus d'obéir aux lois physiques. À titre illustratif, relevons la difficulté rencontrée par l'atome de Bohr dans l'explication des diverses observations faites sur les spectres optiques lorsque l'émetteur est placé dans un champ magnétique ou électronique. C'est l'intégration de la dualité onde-particule qui avait résolu ce

²⁹⁶ C. ALLEGRE, *Un peu plus de science pour tout le monde*, traduit par A. MOLES, Fayard, 2006, p. 133.

²⁹⁷ *Ibid.*, p. 135.

²⁹⁸ *Ibid.*, p. 149.

²⁹⁹ E. MORIN, *La Méthode, III. La connaissance de la connaissance*, Paris, Seuil, 1986, p. 15.

problème. La mécanique quantique est donc la mécanique ondulatoire. Et avec Stern en 1932, on comprendra que l'atome est lui aussi constitué à la fois d'onde et de particule.

En définitive, l'adaptation de la recherche aux fondamentaux de la physique quantique donne une vue approximative, et dont la garantie de la matière. Aujourd'hui, on parvient au moins à connaître avec une probabilité élevée, les caractéristiques fondamentales de la matière. À partir de là, on semble se rapprocher de plus en plus du réel. Il n'est plus possible aujourd'hui de nommer la matière en marge des principes notamment de probabilité, de complémentarité, d'incertitude et d'objectivité faible... La prise en charge des principes sus-évoqués permet alors une extension de la connaissance de la matière. C'est cela l'objet de notre chapitre IX.

CHAPITRE IX : LA PHYSIQUE QUANTIQUE OU L'EXTENSION DE LA CONNAISSANCE DE LA MATIÈRE

Dans ce chapitre, nous allons montrer en quoi la physique quantique a révolutionné toute notre conception de la matière. Il s'agit de montrer comment cette nouvelle physique est devenue le squelette sur lequel devrait s'adosser toute la philosophie contemporaine. C'est le lieu de justifier tour à tour les intérêts pédagogiques et épistémologiques de la vision schrodingerienne de la matière, lesquels intérêts se dévoilent par l'implication de la physique quantique dans l'exploration et la compréhension de l'esprit.

1- La matière subatomique ou la justification de la pertinence et de la permanence de la probabilité en science

L'introduction de la probabilité ou des principes aléatoires en science n'inscrit pas, il faut le préciser, la communauté scientifique dans un chaos ou dans un anarchisme épistémologique. Elle impose tout simplement un changement de paradigme. Changement qui consiste à quitter d'une science de causalité factuelle à une science régie par la fonction d'état. Il s'agit de l'état quantique. Selon Michel Bitbol, l'expression « état quantique » représente la notion d'état dans la physique mécanique, mais son signifié n'est plus le même. De fait, l'état quantique n'est plus simplement une liste de variables bien déterminées, c'est précisément un instrument de calcul de probabilité qui a la forme d'une onde. C'est ce qui justifie la dualité onde-corpuscule. En effet, cette dualité ne renvoie point à une dualité entre un comportement ondulatoire et un comportement corpusculaire d'une seule et même chose. C'est davantage la confrontation entre d'une part les caractéristiques des données expérimentales qui sont directes comme le voudrait le modèle corpusculaire et les caractéristiques du formalisme prédictif qui, sont continues et ont la forme du monde.

Heurt Everett III a essayé de résoudre le problème de la pertinence et de permanence de la probabilité par le phénomène de la mesure en science. De son avis, c'est la succession des états, au moment de la mesure qui confirme la pertinence de la probabilité en science. En fait, lorsqu'on mesure un corps, il n'est pas possible d'avoir simultanément les informations sur sa nature ondulatoire et corpusculaire. L'ayant constaté, Erwin Schrödinger a préféré parler seulement de la fonction d'onde comme justifiant l'état quantique de la matière. Selon lui, les deux aspects de la matière à savoir, l'onde et le corpuscule caractérisent le comportement du

*quantum/quantum*³⁰⁰. Néanmoins, la même expérience n'est pas capable de nous révéler les deux aspects au même moment. Ce qu'il faut retenir est que, « *la probabilité pour qu'une particule chargée franchisse une barrière de potentiel plus élevée que l'énergie dont elle est dotée, n'est pas nulle.* »³⁰¹. Elle peut être négligée. Mais manifeste à un degré infiniment petit.

Cette vision réaliste de la matière dans la physique des particules a fondamentalement révolutionné l'univers scientifique. Popper va même jusqu'à dire que « *malgré les apparences, Bohr était fondamentalement réaliste* »³⁰². De fait, on ne saura jamais si l'aspect non visible au moment de la première expérience identifie l'ondulation sur la corpuscularité. Lorsqu'on viendra mesurer le second aspect qu'on avait pas constaté, on aura encore modifié le quantum dans son état initial. On peut donc dire à partir de là que la superposition implique la complémentarité. Or les mondes relatifs renvoient aux différentes successions que fait le réel suivant une mesure plurielle. Nous le disons parce que la physique moderne, en introduisant la probabilité comme principe fondamental de connaissance, a ainsi rejeté la métaphysique classique dans le calendrier Grec. Mais celle-ci sera récupérée par Erwin Schrödinger dans sa fameuse théorie du chat mort et vivant. D'ailleurs, la métaphysique est pour lui « *l'avant-garde de la connaissance* »³⁰³. C'est dire que, d'une vue complémentaire, « *la physique et la métaphysique forment donc deux disciplines complémentaires en charge d'accroître notre connaissance de l'univers si, et seulement si, matière et esprit sont inséparables dans les méthodes de recherche et les langages de ces deux de la connaissance* »³⁰⁴.

Concrètement, lorsqu'on commence à explorer le monde microscopique, de milliard de fois plus petit que le nôtre, on se rend compte que les règles y sont plus intuitives, et dont probabilistes que celles qu'on connaît dans un monde à grande échelle. La magie du monde quantique commence à un milliardième de millimètre, c'est-à-dire la taille de l'atome. La matière se comporte de façon tellement différente à cette taille que des scientifiques se sont sentis obligés d'adopter la probabilité comme base de connaissance approximativement approchée du réel. En réalité, à la plus petite échelle imaginable, l'information semble non seulement voyager plus vite que la lumière mais, l'observation humaine détermine aussi ce qui s'y produit. Nous le disons parce qu'à cette échelle, il semble que les éléments mécaniques

³⁰⁰ Ce sont des grandeurs discrètes de Planck et Einstein permettant de penser la discontinuité. C'est aussi un ensemble de grains utilisés pour comprendre la structure de la matière.

³⁰¹ N. BOHR, *Physique atomique et connaissance humaine*, traduit par Edmond Bauer et Roland Omnès, Paris, Gallimard, 1991, p. 185.

³⁰² K. POPPER, *La théorie quantique et le schisme en physique*, Hermann, traduit par Hermann 1996, Paris, 1996 p. 11.

³⁰³ E. SCHRÖDINGER, *L'esprit et la matière*, (1958), traduction et introduction de M. Bitbol, Paris, Seuil, 1990.p. 49.

³⁰⁴ J.E. CHARON, *L'esprit, cet inconnu*, Paris, Alain Michel, 1997, p. 25.

quantiques ne soient pas les mêmes quand on les regarde que lorsque qu'on ne les regarde pas. Cette conclusion est issue de l'expérience des fentes de Yung. Elle consiste à projeter des photons lumineux à travers une plaque de métal comportant deux fentes. La lumière passe par les fentes et se projette sur un écran derrière la plaque.

Comme on peut le constater, l'électron est un tout petit morceau de matière. Ces électrons lancés à travers les fentes peuvent générer des paquets d'interférences comme une vague d'eau. Cela, en effet, est dû au fait que chaque électron part comme une particule, devient probablement une onde de possibilité, passe par les deux fentes et interfère avec elles jusqu'à redevenir comme une particule. Cela semble étrange, mais, mathématiquement, ces particules passent soit par l'une des fentes soit par l'autre. Cela justifie le fait que chaque électron semble devenir soit une bille soit une vague, comme s'il était conscient qu'on le regardait. Cet évènement est un peu mystérieux. Mais, il se trouve qu'avec la mécanique quantique, l'observateur a détruit la fonction de vague avec le simple regard.

Lors de la mesure, le simple fait d'observer change la nature de la particule atomique. Le secret le plus mystérieux est que « *lorsqu'on ne regarde pas, les particules sont des ondes, lorsqu'on regarde, elles restent des particules* »³⁰⁵. De la même manière, lorsqu'on ne regarde pas, l'électron semble passer par les deux fentes à la fois (sous forme d'onde), lorsqu'on regarde, on le voit toujours passer par l'une ou l'autre fente, mais jamais les deux. Max Tegmark et Sean Carroll de Massachusetts Institute of technology et de l'Institut de technologie de Californie assimilent cela à « *une énigme quantique* ». Selon les lois de la physique quantique, quand on ne la regarde pas, cette particule est partout. Ainsi, la probabilité peut être plus forte de l'avoir à tel endroit plus tôt que tel autre. Mais l'éventuelle possibilité est en fait infiniment vaste.

En mécanique quantique, nous ne savons pas comment nous tenir nous-mêmes en tant qu'observateurs. En effet, il existe pour cela deux lois dans l'évolution des systèmes physiques : une, pour quand on ne regarde pas un phénomène, et l'autre pour quand on le regarde. Cela s'appelle en réalité, « *la superposition des états* », qui génère ce que Schrödinger appelle « *la fonction d'onde* ». On est là au cœur d'un paradoxe qui ne dit pas son nom. Situation semblable à celle du chat : mort ou vivant ? Nous sommes-là dans un « *double band* », situation taxée par Eboussi Boulaga de paradoxe. Dans l'univers quantique, on a l'impression que les choses n'aiment pas rester à un seul et même endroit, ou suivre une même direction. C'est comme si elles étaient à plusieurs endroits. « *C'est que je fais ici peut avoir des répercussions ailleurs,*

³⁰⁵ M. LACOSTE LAREYMONDIE (de), *Une philosophie pour la physique quantique. Essai sur la non-séparabilité et la cosmologie de A.N. Whitehead*, Paris, L'Harmattan, 2006, p. 129.

même s'il n'y a personne »³⁰⁶. En effet, si les gens se comportaient comme des particules à l'intérieur d'un atome, la plupart de temps, on ne saurait pas où ils se trouvent exactement. Ils pourraient être absolument n'importe où, jusqu'à ce qu'on les cherche.

La connaissance de la matière à l'échelle quantique est fonction de probabilité. Pour David Bohm, « *l'onde n'est pas un électron étalé, mais plutôt une onde de probabilité* »³⁰⁷. À ses yeux, c'est l'amplitude d'une onde à une position donnée qui prédit la probabilité que l'électron se trouve à telle position. De fait, on ne peut pas déterminer tout de suite où est l'électron. Mais on a le droit de demander : si je cherche l'électron à cette position, quelle est la probabilité que je le trouve là ? Quand on lance un électron, par exemple, on ne peut pas prédire sa direction. Mais si on utilise l'équation de Schrödinger sur « l'onde de probabilité », on peut savoir la probabilité quantifiée de le trouver ici ou là-bas. En réalité, les équations de la mécanique quantique s'avèrent étonnamment précises par les principes de probabilité. Faut-il préciser que le mot probabilité ne se confond pas à celui de devinette. De façon schématique, toute la matière qui constitue l'univers est faite d'atomes et de particules subatomiques gouvernés par la probabilité.

Le pouvoir de la probabilité dans la physique des particules, et particulièrement celle de Schrödinger, a si tôt révolutionné toute notre conception qu'on avait de la matière. Qu'elle soit solide, liquide ou gazeuse. Ce pouvoir a donné naissance au laser, au transistor, et le circuit intégré plus toute l'électronique. Cela nous amène à relever que si la mécanique quantique se mettait en grève, pratiquement toutes nos machines tomberaient en panne. Nous le disons parce que les équations quantiques ont permis aux ingénieurs de concevoir des interrupteurs minuscules qui dirigent le flot d'électrons et contrôlent tous les ordinateurs, les caméras numériques et les téléphones. Puis d'autres physiciens ont été séduits par la probabilité. Car l'équation de la mécanique quantique leur permettait de prédire les paquets d'atomes et les particules microscopiques avec une précision très surprenante. On est sans doute là dans une « *discontinuité continuum, ou alors un continuum discontinu* »³⁰⁸. Nous disons cela parce que la matière revêt une double réalité. Onde-corpuscule. Heisenberg démontre qu'il « *n'est pas possible de connaître une chose en soi.* »³⁰⁹

En effet, la physique moderne se justifie par la permanence de la probabilité. En réalité,

³⁰⁶ Ceci est notre interprétation de la conférence donnée par Etienne Klein, in « Qu'est-ce que la physique quantique et à quoi sert-elle ? », France culture, autour de la question, consultée le 11 mars 2023 à 14 heures.

³⁰⁷ D. BÖHM, *La plénitude de l'Univers*, Editions du Rocher, 1983, traduction française, 1985, p. 12.

³⁰⁸ Nous utilisons cette expression pour montrer que l'incertitude de la physique quantique, gouvernée par la probabilité nous situe finalement au chevet d'une connaissance certaine.

³⁰⁹ W. HEISENBERG, *La nature dans la physique contemporaine*, 1953), traduit par Ugné Karvelis, Paris, Gallimard, 1962, p. 29.

en étudiant les travaux de Werner Heisenberg sur le principe d'indétermination, on se rend compte que rien ne peut se donner en dehors des opérations de mesures. Il n'y a pas de donnée immédiate à la connaissance. Aujourd'hui, la compréhension de la structure de la matière est telle que nous ne connaissons du réel que ce que nous révèlent les instruments dans un contexte spatio-temporel. Il s'agit de considérer le mouvement du point de vue de l'expérience possible, et toujours comme mouvement relatif d'un objet par rapport à un autre. Dès lors, l'intervention de Bohr avec sa théorie de la nature duale de la lumière et de la matière annihile la conservation des notions classiques de position et de mouvement et modifie totalement notre appréhension de la structure de la matière avec une bonne dose d'objectivité, dans la mesure où dans la description des phénomènes atomiques « aucune référence n'est faite à un observateur individuel, et que, par conséquent (...) il n'intervient aucune ambiguïté dans la communication de l'information »³¹⁰. Quoi qu'on dise, la notion d'objectivité demeure incontournable en science malgré le principe de probabilité qui caractérise les énoncés en physique microscopique où règnent en maître les suppositions, fautes de l'indétermination de la science contemporaine.

Tout compte fait, pour une connaissance approximative de la matière, il faut tenir compte de sa double dimension (onde-corpuscule). L'auteur de *l'Esprit et la matière* a certes valorisé majoritairement la fonction ondulatoire d'un atome comme définissant la matière, mais il a aussi formalisé la notion de charge. Cette négligence du corpuscule est dû au fait que Schrödinger sait que l'énergie contient déjà une masse. Et comme telle, elle s'exprime en charge, il n'est donc plus fondamentalement nécessaire de parler du corpuscule. Cependant, en quoi la conception de Schrödinger aura-t-elle influencé la communauté scientifique ? Autrement dit, quel intérêt revêt sa pensée dans le contexte actuel ?

2- L'intérêt pédagogique et épistémologique de la vision schrodingerienne de la matière

En plein début du XVII^{ème} siècle, l'interrogation sur le « comment se positionner entre une science pleine d'incertitude et toutes ces mythologies qui semblent avoir trouvé le code rendant possible l'appréhension (...) du monde »³¹¹ se pose de façon retentissante. Il fallait en fait se positionner parmi les cultures que sont la science, l'art, la religion, la magie, la sorcellerie, sans oublier les mythologies diverses qui se livrèrent à une démarche herméneutique dans l'optique de livrer les artefacts pouvant servir à l'intelligibilité du monde réel. Pour y

³¹⁰N. BOHR, Cité par B. ESPAGNAT (d') in *Traité de physique et de philosophie*, Paris, Fayard, 2002, p. 114.

³¹¹ I. S. MOUCHILI NJIMOM, *op.cit.*, p. 9.

parvenir, il était impératif de rompre de fond en comble et progressivement avec tout langage dépourvu de signification ; c'est-à-dire donner à l'homme les codes rendant possible une meilleure compréhension et maîtrise du réel. C'est ainsi qu'au début du XX^{ème} siècle, l'homme tenta de redéfinir la matière à partir des fondamentaux de la physique quantique.

Grâce à la vision scientifique de Schrödinger, il n'est plus envisageable de penser le monde en ne faisant pas fi de la double dimension de la matière. À partir du XIX^{ème} siècle, on commençait déjà à reconnaître que « *les atomes, en tant qu'ils constituent l'étant inaltérable proprement dit, se meuvent et provoquent par leur disposition et leurs mouvements réciproques les phénomènes variés de notre univers sensible* »³¹². Pour mieux comprendre le comportement de ces phénomènes, il fallait passer d'une nature macroscopique à celle microscopique. Ce passage a favorisé la maîtrise de presque toute l'ossature architectonique de la matière. De nos jours, on sait que « *dans le processus de désintégration, la production d'électrons négatifs ou positifs s'explique par la transformation d'un proton nucléaire en neutron vice-versa* »³¹³.

En physique quantique, les particules subatomiques ont à la fois des propriétés ondulatoires et corpusculaires, obéissant à la célèbre équation d'onde de Schrödinger, qui permet de déterminer le degré de probabilité de production d'un événement donné. En fait, elle constitue néanmoins l'arme la plus puissante en science aujourd'hui. La physique des particules, à travers « la fonction d'onde » de Schrödinger, a donné espoir de vie dans tous les domaines de savoirs. Cette forme de connaissance a un pouvoir de prédiction avéré. Cette prévision s'adosse bien sûr, sur les principes d'incertitude, l'incohérence, la probabilité et la superposition. Séduit par la microphysique, Michio Kaku estime que, sans « *l'acmé de la théorie quantique est le modèle standard qui peut prédire les propriétés de toute chose, depuis les infimes quarks subatomiques jusqu'aux géantes supernovæ de l'espace intersidéral* »³¹⁴, le monde serait en retard sur plusieurs plans. Au XX^e siècle par exemple,

*la théorie quantique a donné la capacité de comprendre la matière que nous voyons autour de nous. Dans le cours du prochain siècle, la révolution quantique peut ouvrir la porte à la prochaine étape : le pouvoir de manipulation et de chorégraphier de nouvelles formes de matière, quasi à notre guise.*³¹⁵

Aujourd'hui, la physique quantique ouvre l'opportunité à une réinterprétation des problématiques qui jusque-là étaient le monopole des cosmologies spirituelles. De fait, la

³¹² W. HEISENBERG, *La nature dans la physique contemporaine*, traduit par, A.E. Leroy, Paris, Gallimard 1962, p. 15.

³¹³ Louis Broglie (de), *Les atomes* (Robert Laffont) - Grammont, Paris, 1975, p. 85.

³¹⁴ M. KAKU, *Visions. Comment la science va révolutionner le XXI^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1999, p. 25.

³¹⁵ *Id.*

rupture qu'elle opère avec la physique classique a permis de comprendre que la matière n'est pas aussi simple qu'on le croyait, aussi solide et continue qu'elle en a l'air. Certes la science ne prétend pas comprendre le fonctionnement total de l'univers, cependant, ses hypothèses sont scientifiquement approuvées. Grace à la physique des particules, des nouvelles théories ont vu le jour. Entre autres théories, nous avons la théorie des cordes, développée par Lee Smolin, la théorie du chat mort de Schrödinger, la théorie des trous noirs prédites par Einstein, les multi univers, univers parallèles etc... En réalité, les lois de la mécanique quantique, permettent, à travers ces lois de rendre compte expérimentalement de certaines réalités relevant de l'ordre du mystique dans les sciences occultes. Les propos de l'auteur de *Penser la philosophie à l'ère de technoscience* en démontrent suffisamment. Pour lui, « *les obstacles liés à l'existence ne peuvent en rien être une motivation au découragement, à la soumission aux mythes, à la superstition et au paranormal* »³¹⁶. À partir de là, toute tentative de sombrer dans le mysticisme et la mythologie n'est qu'une peine perdue. Au lieu d'emprunter cette voie, le recours à la physique quantique semble le mieux approprié. Nous le disons parce que ses lois sont susceptibles de mieux nous renseigner sur la structure du monde et son fonctionnement. Sous les yeux de Mouchili Soulé, « *ce qui est paranormal, c'est d'ignorer ou d'omettre cette physique des particules et de vouloir penser autrement la matière* »³¹⁷.

La mécanique quantique couronne d'exploits parce que ses lois sont susceptibles de rendre compte de plusieurs phénomènes considérés jusqu'ici comme paranormaux. Parmi ces phénomènes, nous avons la télépathie, les actions à distance, l'action fantôme et bientôt l'intrication. De plus, la théorie des cordes de Smolin, est à même d'expliquer des phénomènes allant au-delà de la perception humaine. On comprend dès lors que la nature du réel ne peut plus être résolue essentiellement par l'expérience mécaniste. Succinctement, la fin du XXème siècle marque un véritable bouleversement sur presque tous les niveaux de connaissance. Le phénomène de la substitution de l'ennuyeuse certitude déterministe par l'incertitude du flou quantique est un exemple typique. Outre cela, l'on a aussi la fin du réductionnisme rigide et déshumanisant et du mysticisme au profit d'un discours se rapprochant le plus possible de la réalité : la mécanique quantique. Laquelle se trouve au cœur de nombreuses prouesses scientifiques avérées. Elle facilite la manipulation de la matière, son amélioration etc. Certains pourraient objecter avec raison que la physique quantique est similaire aux mythes, à la sorcellerie ou même à la magie de par le fait qu'elle est également le temple du difficilement compréhensible. Par ricochet, la différence entre la microphysique avec les autres, réside dans

³¹⁶ I. S. MOUCHILI NJIMOM, *Valeur, Culture et science*, Paris, L'Harmattan, 2020, p. 8.

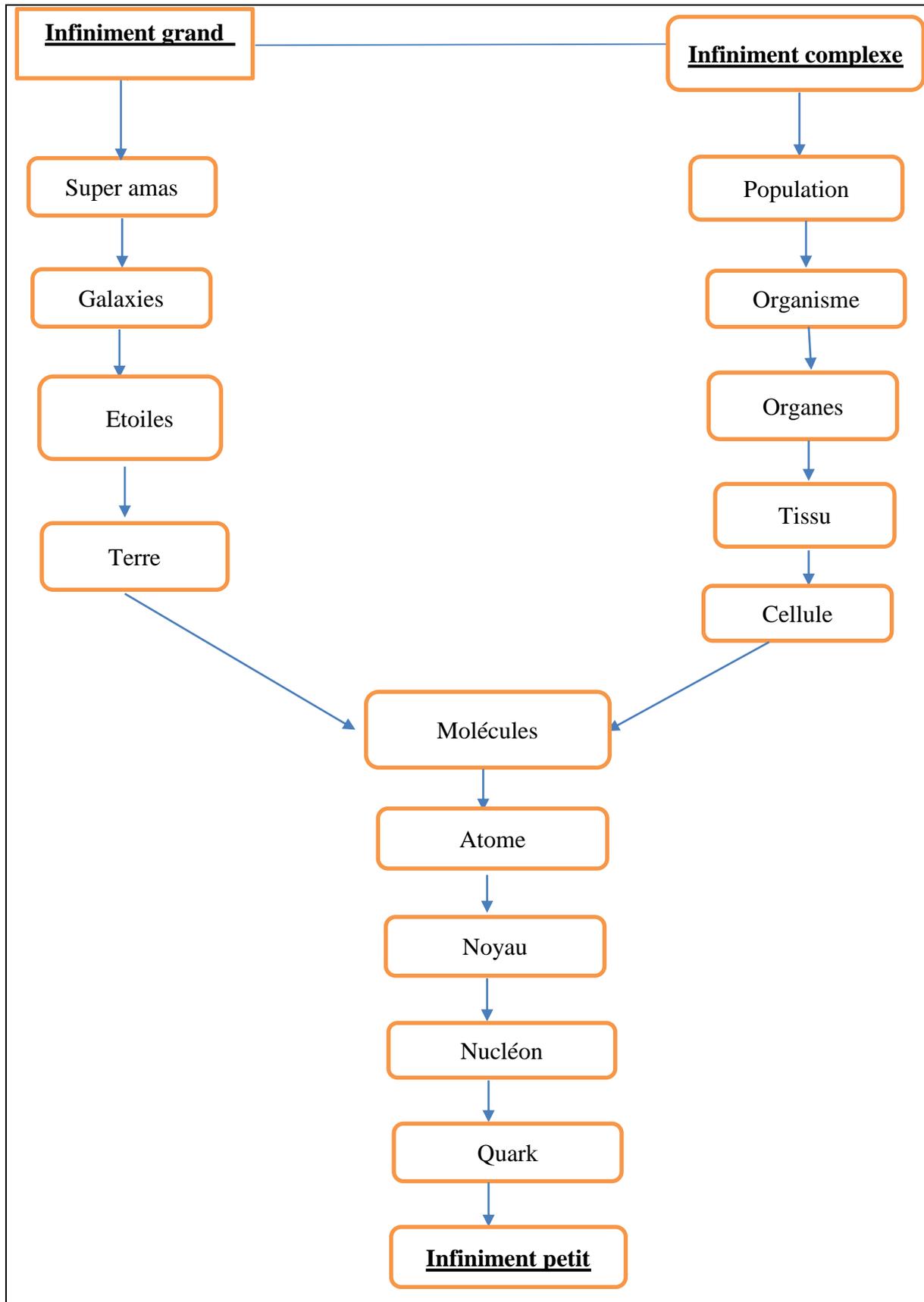
³¹⁷ *Ibid.*, p. 11.

la logique probabiliste avec laquelle est fait chemin. Celle-ci lui permet de résoudre brillamment certaines équations philosophiques où les autres se soldent par un cuisant échec. Ainsi, à « *travers les sciences de l'imprécis, on peut affirmer que la physique quantique tend systématiquement à mettre fin au mystère dans la connaissance du réel.* »³¹⁸

Dans notre quotidien, la physique quantique est en train de faire ses preuves. Elle a conquis le domaine de la science et est en train de s'étendre même dans les sciences humaines. C'est par exemple le cas de la psychologie, de la biologie et autres sciences humaines. C'est d'ailleurs dans cette optique que s'érige l'ouvrage *Théories quantiques et sciences humaines*³¹⁹ de Michel Bitbol. Une telle extension de la mécanique quantique témoigne de la crédibilité et de la confiance à lui accorder. Michel Le Bellac ira jusqu'à dire que la plupart des technologies modernes n'auraient pas vu le jour si la physique quantique n'existait pas. Par un schéma représentatif des éléments qu'on rencontre dans les deux grandes dimensions de l'univers à savoir l'infiniment grand et l'infiniment petit, Schrödinger nous a sorti de l'impasse de vie. Ces éléments se trouvent contenu dans le tableau ci-dessous.

³¹⁸ M. M. NGOUWOUO, « Les rationalités paranormales en question : une approche scientifique de la matière », in I. S. MOUCHILI NJIMOM, *Valeur, Culture et science*, Paris, L'Harmatan, 2000, p. 183.

³¹⁹ M. BITBOL, *Théories quantiques et sciences humaines*, Paris, CNRS Editions, 2009.



À partir des enseignements enregistrés dans ce tableau, il faut dire avec Schrödinger que

la microphysique a permis au scientifique d'explorer l'intimité du réel. Elle a permis à l'homme de connaître le réel au-delà de l'atome. C'est ce qui lui fait dire à De Broglie que la microphysique « a eu pour point de départ la découverte de la structure discontinue de la matière, c'est-à-dire de l'existence de molécules des atomes et des électrons »³²⁰. Schrödinger a eu le mérite d'explorer la double dimension de la matière à savoir : l'onde et le corpuscule. Désormais, on sait que dans une matière, les particules se comportant aussi comme des ondes. Jean Staune affirme à cet effet que

*les électrons, mais aussi les protons, les neutrons et tous les autres constituants d'atomes...une fois livrés à eux-mêmes, ils se comportent aussi comme des ondes. Mais quand ils sont observés ou quand ils entrent en interaction avec l'écran après être passés par les fentes...ils se dématérialisent en prenant leur aspect corpusculaire*³²¹.

Le comportement de la matière à l'échelle microscopique est semblable à un objet doté du don d'ubiquité. Pour comprendre cette nature étrange de l'électron, supposons l'analogie de Jim Al-Khalili suivante : celle d'une pièce de monnaie que l'on fait tourner. Il fait remarquer que tant que cette pièce de monnaie tourne, elle n'est ni pile ni face, mais les deux à la fois. Pour savoir où va tomber cette pièce de monnaie, il faut par exemple l'obliger à s'arrêter en tapant dessus. C'est de cette manière que se comporte un électron lorsqu'il projette sur l'écran : on ne peut savoir où il va se matérialiser avant de l'avoir observé. La seule possibilité c'est d'effectuer des calculs si minutieux pour nous donner les zones où il est plus probable de le trouver. Toute la matière étant faite d'électrons, nous sommes appelés à comprendre qu' « il n'y a pas de réalité tangible, seulement une réalité potentielle »³²² en physique.

La physique quantique impose une rationalité probabiliste ou indéterministe. Ici, les phénomènes observés n'ont pas de manière certaine une cause matérielle. C'est pourquoi, Bernard d'Espagnat nous invite à adopter un réalisme ouvert. Il s'agit d'un réalisme fondé sur une causalité élargie, ce qui évite de rester cloîtré dans l'immanence de notre monde. En effet, avant la rationalité quantique, on pensait que les causes de phénomènes dont nous faisons au quotidien l'expérience relevaient uniquement de notre niveau de la réalité. Ici, l'idée d'une réalité lointaine qui influencerait notre réalité observable était développée par une approche mystique. Heureusement, avec l'expérience de Schrödinger, on ne peut plus rester fermé sur

³²⁰ L. BROGLIE (de), *Certitude et incertitude de la science, science d'aujourd'hui*, Paris, Albin Michel, 1966, p. 28.

³²¹ J. STAUNE, *Explorateurs de l'invisible : une plongée au cœur des grands mystères de l'univers et de nous-mêmes*, Paris, Tredaniel, 2018, pp. 79-80.

³²² J. Al. KHALILI OBE, « les secrets de la mécanique quantique » (en ligne), in *Science et vie*, mis en ligne le 13 janvier 2018, consulté le 24 février 2023.

la seule matérialité cosmique.

La physique quantique est en train de mettre un terme au mystère dans nos diverses façons de percevoir le monde. Elle nous garantit une meilleure explication des phénomènes-réel. Elle présente un intérêt à la fois épistémologique et pédagogique pour la science contemporaine. De fait, la mécanique quantique parvient à valablement rendre compte de certaines situations dont on pensait que l'interprétation défierait à coup sûr l'entendement. Désormais, il est possible de rendre compte grâce à celle-ci du phénomène de la télépathie, de la téléportation etc. Bref, la mécanique quantique met fin au règne et à l'emprise du mysticisme en offrant une interprétation rationnelle et scientifique des phénomènes. Il est question ici de comprendre que la mécanique quantique rend valablement compte des phénomènes de « *lévitation, de multilocation, d'apparition et de vision* »³²³ d'une part ; et d'autre part, d'envoutement, du « *cannibalisme mystique* »³²⁴ et de la « *métamorphose d'homme en animaux* »³²⁵ mieux, des interactions entre le monde vécu et les mondes parallèles.

En définitive, il faut retenir que, grâce aux découvertes enregistrées en physique quantique, le réel demeure scientifiquement connaissable. Seulement, ce réel n'est pas absolument conforme à notre perception. Le réel quantique semble tout aussi mystique et échappe, tout comme les sciences occultes, aux lois de la physique mécaniciste. Certes, de même que la sorcellerie, la magie, la physique quantique est un temple de mystère. Mais, le mystère de la science contemporaine sera justifié par la tutelle d'une logique probabiliste, laquelle rend possible la résolution de certaines préoccupations philosophiques. Quoi qu'on dise, nous sommes tous des « *chats de Schrödinger* ». Cette théorie s'applique dans presque tous les domaines de la vie. Nous sommes généralement soit ici, soit là-bas. En esprit ou en pensée, nous sommes partout à la fois, nous ne sommes pas toujours stables. Comment comprendre ce postulat de notre être pluridimensionnel à partir de l'étude de la bi-dimensionnalité de l'être en général et de l'étude de l'esprit en particulier ?

3- La physique quantique ou l'extension de la connaissance de l'esprit

Il s'agit pour nous dans cette sous partie de montrer les possibilités pour la physique des particules de tenir un discours sur l'esprit. De fait, il s'agit de montrer que malgré l'incapacité pour la machine de calculer avec certitude la conscience, la physique quantique permet d'en

³²³ P. M. HEBGA, *La rationalité d'un discours africain sur les phénomènes paranormaux*, Paris, L'Harmattan, 1998, pp. 191-224.

³²⁴ *Ibid.*, pp. 297-322.

³²⁵ *Ibid.*, pp. 275-298.

donner quelques caractéristiques.

Comme on peut le savoir, la mécanique quantique est le dépassement du matérialisme classique. Pour ce courant de pensée, la matière est au fondement de toute chose. Fondement parce qu'elle serait l'instance qui gouverne tout mouvement. Cette conception trouvait aussi des ramifications dans la conception judéo-chrétienne. Pour celle-ci, le triadisme âme-corps-esprit est le prolongement d'une création divine. À partir de là, l'esprit se révèle un mystère. Nous le disons parce que le matérialisme classique et la judéo-chrétienté estiment que l'esprit ou mieux la conscience n'a pas d'énergie. Pourtant Pierre Meinrad Hebga l'assimile au souffle. Écoutons Michel Kouam à cet effet,

En résumé, notre lecture de l'œuvre philosophique de Hebga La Rationalité d'un discours africain sur les phénomènes paranormaux nous aura permis d'affirmer une chose essentielle : la nouveauté philosophique sur l'homme-trime : corps, souffle, ombre. Cette reformulation Hebgaéenne du composé humain bat en brèche le dogme platonicien (et autres) du corps-âme.³²⁶

De plus, on pense à partir de cette approche que la conscience n'est pas reproductible mécaniquement. Qu'elle ne peut pas être connaissable par la machine. Cette impossibilité tient du fait que l'esprit serait un être immatériel, une partie incorporelle du sujet qui détermine son être là. C'est aussi la substance, une partie non matérielle du corps. À partir de là, l'esprit se justifie en un « *messianisme sans signification : la sorcellerie.* »³²⁷

Comme on peut le constater la conscience n'est plus un mystère avec l'avènement de la physique de particules. Aujourd'hui, et même dans les sciences cognitives il est démontré que l'homme c'est son cerveau. Jean Lombard va jusqu'à dire dans *La philosophie de l'hôpital que la mort de l'homme, c'est la mort du cerveau*. En effet, « *la conscience nous permet d'accomplir des actions irréductibles à toute forme de calculs.* »³²⁸ Nous le disons parce que c'est la mécanique quantique qui nous permet de tenir un discours approximatif sur l'esprit. De fait, les lois de la mécanique quantique nous enseignent que la matière est énergie. Or, cette énergie est une vibration qui a une fréquence. La fréquence elle-même ayant une information, l'homme en fait usage pour penser. Avec les avancées observées en microphysique, on peut quantifier l'énergie. On parle notamment de haute fréquence (positive) et de basse fréquence (négative)

³²⁶ M. KOUAM, « Pluralisme triadique du composé humain et ses enjeux » in *La dialectique de la foi et de la raison. Hommage à Pierre Meinrad Hebga*. Sous la direction de Fabien Eboussi Boulaga, Editions Terroirs 2007. p. 133.

³²⁷ J. MALONGA, « La sorcellerie et l'ordre du Lemba chez les Lari », cité par M. SINDA, *Le messianisme congolais et ses incidences politiques*, Paris, Payot, 1972, P. 372.

³²⁸ R. PENROSE, *Les ombres de l'esprit. À la recherche d'une science de la conscience*, Paris, InterEditions, 1995, p. 10.

pour montrer l'interconnexion entre les consciences. À cet effet tous les hommes sont interconnectés. Alain Aspect parle de « *l'action fantôme* » pour rejoindre Einstein. En clarifiant la situation Bohr, il estime que « *les concepts de la physique classique étaient des outils permettant aux scientifiques de communiquer avec d'autres scientifiques* »³²⁹. De son avis, les caractéristiques classiques des objets observés sont ainsi identifiées comme étant des caractéristiques de l'esprit des observateurs.

Selon la mécanique classique tout résultat est prédéterminé par des lois décrites purement physiquement. Alors que selon les idées fondamentales de la mécanique quantique, les résultats impliquent un élément quantique aléatoire irréductible. En réalité on détecte dans la formation des neurones au moins deux types d'actes qui se révèlent de façon à croire que l'homme serait déterminé par nature. Or, à l'échelle de l'infiniment petit le processus va au-delà de la vitesse que peut effectuer un électron. Car la quantité d'énergie que déploie un électron à comprendre plusieurs phénomènes n'est quantifiable que par les lois quantiques. On sait que la vitesse de l'électron en une seconde est la vitesse de cet électron multiplié par le carré de la vitesse de la lumière. Les machines pas ne sont capables de telles anticipations aujourd'hui. En réalité, ce ne sont pas des entités immatérielles qui nous amènent à rester immobile parce que les corps seraient par nature inertes, mais les liaisons cérébrales commandant le mouvement pour rendre capables la pensée. Certes, les fonctionnements cérébraux dépendent d'un circuit biochimico-électrique, mais il se trouve qu'il existe un domaine pouvant calculer la vitesse avec laquelle le cerveau effectuerait certains actes. Cette possibilité pour la physique quantique de rendre compte de la pensée de façon probabiliste, est ce que Schrödinger appelle la « *fonction d'état* ».

Par ailleurs une série d'expérience réalisée pendant la moitié du XXe siècle, montre que les propriétés de la matière à l'échelle de ses constituants atomiques ne sont que fonction de probabilité. Les résultats de ses expériences s'avèrent incompatibles non seulement avec les lois de la physique classique, mais aussi avec ses principes fondamentaux. C'est ce qui justifie l'urgence d'une nouvelle théorie appelée « *mécanique quantique* ». Celle-ci se base sur des concepts radicalement différents de celle de la physique classique, mais elle donne des prévisions très précises à propos de ce que l'on peut tenir à partir d'expériences aussi anciennes que nouvelles, reproductibles. En effet, la vision de la mécanique quantique de la nature de l'homme est totalement différente de celle de la conception robotique qu'impliquaient les principes de la physique classique. Comme on peut le constater la version originelle de la mécanique quantique

³²⁹ BOHR, cité par H. STAPP, *Le monde quantique et la conscience. Sommes-nous des robots ou des acteurs de notre propre vie ?*, Paris, Editions Dervy, 2016, p. 39.

fut désignée sous le nom d'« *interprétation de Copenhague* ». Son succès tient de la *dualité onde-corpuscule*. Réalité qui permet à la physique contemporaine de donner un résultat approximatif sur la connaissance de l'esprit. En fait « *Si les signaux neuronaux peuvent totalement avoir un comportement déterministe, le contrôle de liaisons synaptique entre les neurones s'effectuent à un niveau situé à la frontière séparant le monde classique du monde quantique.* »³³⁰

Critiquant Einstein sur « *l'effet fantôme* » à distance, Henry Stapp montre que cette interprétation est à la fois radicale et très cohérente. A ces yeux plutôt que de chercher à fixer une frontière entre le monde microscopique et le monde macroscopique, on peut dépasser ces frontières vers le haut pour la située entre notre cerveau et notre esprit. D'après une telle conception la totalité du monde y compris celui qui nous entoure le corps et le cerveau obéissent aux lois de la physique quantique. Cela est effectif parce que c'est notre conscience qui, en permanence donne au monde l'apparence nous lui connaissons. Dit autrement, c'est notre conscience qui crée la réalité et non le contraire. C'est le point ultime et le chemin jusqu'où peut la révolution quantique. En effet, cette interprétation trouve son prolongement dans la relation : sujet-objet, esprit-matière, corps-cerveau. Henry Stapp confère à cela « *l'interprétation orthodoxe* ». Orthodoxe parce qu'elle est selon lui la plus cohérente, la plus satisfaisante intellectuellement ; « *de résoudre définitivement les paradoxes célèbres du monde quantique* »³³¹. À partir de là, on se rend compte qu'en « *introduisant la mécanique quantique dans la Compréhension du cerveau, il est question pour la science d'élargir le champ de perception du fonctionnement de la conscience* »³³². En effet, le monde moderne depuis la renaissance jusqu'au XXe siècle, nous présente une physicaliste du monde. C'est la physique et la chimie qui expliquent la réalité ultime, c'est-à-dire tout ce qui constitue le monde et nous. Et, « *C'est la matière qui constitue le composant de base de la réalité. C'est pourquoi aujourd'hui la quasi-totalité de spécialistes de science de l'esprit pensent que l'esprit émerge d'une façon ou d'une de la matière.*»³³³ Quoiqu'on dise, « *en reprenant les comportements humains dans le système on remarque la notion du sujet inventif et créatif demeure encore un caractère non transmissible à nos machines.* »³³⁴

³³⁰ R. PENROSE, *Les ombres de l'esprit. À la recherche d'une science de la conscience*, Paris, Inter Éditions, 1995, p. 12.

³³¹ H. STAPP, *op.cit.*, p. 59.

³³² I.S. MOUCHILI NJIMOM, Cours de philosophie de de Master II, (Inédit), Université de Yaoundé I, janvier 2023.

³³³ H. STAPP, cité par M. BEAUREGARD, Un saut quantique de la conscience, pour se libérer enfin de l'idéologie matérialiste, Dervy, Paris, p. 137.

³³⁴ I.S. MOUCHILI NJIMOM, *Qu'est-ce que L'humanisme Aujourd'hui ? Vers une tentative « Bio-centrique » ?*, Paris, L'Harmattan, 2012, p. 12.

La position scientifique ne peut pas être tout simplement comprise comme une position concurrentielle par rapport à la position métaphysique, mais il s'agit au plan chronologique et logique d'un processus dialectique qui nous mène vers une prise de conscience du fait que désormais, c'est par une approche phénoménologique et scientifique qu'il faut comprendre l'homme et le monde. L'homme est donc un sujet parce qu'il dispose d'un cerveau dont les constituants neuronaux et les combinaisons nerveuses assurent la fonction motrice, intégrative et d'assimilation. Par ailleurs, le spiritualisme de Descartes consiste à affirmer la substantialité de la pensée ou de l'âme et sa transcendance par rapport au corps ou à la matière. Bien que l'âme soit par exemple unie au corps, elle s'en distingue nettement. C'est ce que ce philosophe dit précisément en ces termes : « *ce moi, c'est-à-dire l'âme par laquelle je suis ce que je suis, est entièrement distincte du corps, et même qu'elle est plus aisée à connaître que lui, et qu'encore qu'il ne fut point elle ne laisserait pas d'être tout ce qu'elle est* ». ³³⁵ Contre ce substantialisme cartésien, La Mettrie adopte une approche matérialiste et mécaniste de l'homme. Suite à cela, Changeux nous fait comprendre que la dégénérescence des neurones ou la mort de ceux-ci provoque nécessairement un dysfonctionnement du caractère réflexif de l'individu humain. En fait, ici, nous remarquons que :

Le cerveau de l'homme se compose de milliards de neurones reliés entre eux par un immense réseau de câbles et connections, que dans ces « fils » circulent des impulsions électriques ou chimiques intégralement descriptibles en termes moléculaires ou physicochimiques, et que tout comportement s'explique par la mobilisation interne d'un ensemble topologiquement défini de cellules nerveuses ³³⁶.

Le champ d'action de la science va au-delà de la volonté de comprendre les attributs matériels de notre univers. Il s'étend dans sa démarche à la recherche de l'existence mentale de l'homme. On doit se poser la question de savoir *si la science parvient effectivement à la compréhension du ténébreux mystère de l'esprit ?* La lecture numérique ou informatique nous-a-t-elle révélé tout le mystère de la conscience ? La science contemporaine et plus précisément la physique quantique se propose de mettre de côté les zones d'ombres qui existeraient encore et freineraient encore l'expression de la conscience. Il est question de « *défier l'extrême complexité de l'organisation fonctionnelle du cerveau* » ³³⁷ sans sortir de la science, ni faire confiance au seul système numérique. Le système numérique n'est pas suffisant parce-que malgré sa puissance, *il n'a pas réussi à comprendre la multiplicité simultanée de certains actes*

³³⁵ *Ibid.*, p. 111.

³³⁶ J.-P.CHANGEUX, *L'Homme neuronal*, Paris, Fayard, pp. 333-334.

³³⁷ I.S. MOUCHILI NJIMOM, Cours de philosophie de de Master II, (Inédit), Université de Yaoundé I, janvier 2023.

conscients. Notre intelligence fait des prouesses et réalise ce qui était autrefois impensable. Si l'intelligence humaine peut à l'avenir faire plus qu'aujourd'hui, il va falloir comprendre notre cerveau et savoir comment il fait pour sécréter l'intelligence.

Pour que les machines reproduisent totalement les actes de la conscience humaine, il lui faut les capacités surhumaines qui, à travers la mécanique quantique, leur permettront de prévoir les changements et la nature de l'homme. Ceci parce que le cerveau de la machine pourra exécuter plusieurs tâches au même moment grâce à sa vitesse d'exécution plus rapide que celle du cerveau humain. Aussi, parce que leurs cerveaux électriques contrairement à celui de l'homme toujours biochimico-électrique permettront une évolution rapide du monde et pourront se reproduire elles-mêmes. Pour Changeux,

*Le cerveau de l'homme se compose de milliards de neurones reliés entre eux par un immense réseau de câbles et connections, que dans ces « fils » circulent des impulsions électriques ou chimiques intégralement descriptibles en termes moléculaires ou physicochimiques, et que tout comportement s'explique par la mobilisation interne d'un ensemble topologiquement défini de cellules nerveuses*³³⁸.

En définitive, grâce à la mécanique quantique on peut cerner la conscience et ses caractéristiques. L'esprit n'est plus essentiellement un mystère comme autrefois. Schrödinger a sans doute « *surdéterminé les fonctions du gène. Il a vu véritablement dans le gène une sorte de cause première et de premier moteur.* »³³⁹ Nous concluons volontiers cette sous-section par cette idée de Nzié Lamere pour dire que,

*le corps n'est pas une machine et le cerveau ne peut être considéré comme une sorte de relais de télévision permettant à l'esprit de se déployer dans l'espace et dans le temps. L'âme n'est pas non plus une instance supérieure au cerveau. C'est le cerveau qui pense suivant diverses modalités. C'est pourquoi, ce même cerveau peut développer des impressions, de l'imagination, des sentiments, des émotions et des connaissances.*³⁴⁰

³³⁸ J.-P.CHANGEUX, *op.cit.*, pp. 333-334.

³³⁹ E. SCHRÖDINGER, *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie* (1967), traduit de l'anglais par Léon Keffler, Paris, Cristian Bourgeois Éditeur, 1986, p. 175.

³⁴⁰ H. NZIÉ LAMÈRE, « Jean-Pierre CHANGEUX Sur la question du fondement ontogénétique de la nature du sujet pensant », Thèse soutenue le 13 avril 2023 sous la direction des professeurs Ayissi Lucien et Jacques Chatue, p. 97.

Conclusion partielle

Cette troisième et dernière partie de notre analyse intitulée « *la microphysique ou l'opportunité d'une conception réaliste de la matière* », nous a permis d'établir la fécondité théorique de la conception schrodingerienne de la matière. La conception que Schrödinger a de la matière justifie la garantie de la permanence et de la pertinence de l'indéterminisme ou de la probabilité en science. C'est dire que cette conception de la matière nous situe dans une philosophie de la physique quantique. Sachant que cette physique n'est pas fondamentalement une science fondée sur l'atome, mais plutôt sur les particules subatomiques, nous avons démontré que c'est elle (physique quantique) qui est au fondement de la nouvelle métaphysique. Nous avons parlé de la nouvelle métaphysique parce que, contrairement à la métaphysique classique fondée sur les essences non référencées, la métaphysique moderne ou encore expérimentale, voire microphysique, est fondée sur les microparticules, connaissables par le vecteur d'état de Schrödinger. À ce niveau, la nature corpusculaire et ondulatoire d'une particule, avons-nous montré, se matérialise par les notions de « *réalité observable et de réalité imaginaire* ». Le rapprochement entre la métaphysique et la fonction d'onde nous a permis de justifier la pertinence et la permanence de l'apport de la physique quantique dans la conception de la matière. La crédibilité de ce postulat a été démontré par la théorie de plurivers, la théorie des cordes, de la décohérence et surtout la théorie des « *états relatifs* ». Cette dernière théorie (*états relatifs*) a été présentée comme solution au paradoxe du chat mort et vivant de Schrödinger.

CONCLUSION GENERALE

L'analyse des textes de Schrödinger nous a permis de mener une réflexion autour du problème du statut de la matière. Au cours de notre recherche, nous avons découvert que ce problème cache dans son arrière-plan la crise du réalisme ; laquelle crise a toujours constitué une discorde entre les écoles en général et les penseurs en particulier. De façon schématique, ce problème a animé plusieurs débats dans l'histoire des sciences. Pour participer au débat sur cette crise du réalisme en physique, nous avons préféré subdiviser notre réflexion autour de trois moments.

Dans notre premier axe de travail intitulé « *Erwin Schrödinger sur les principes fondamentaux de la conception microphysique de la matière* », nous avons mis en relief les motivations qui nous ont permis d'expliquer et de justifier pourquoi le physicien ne doit plus seulement se contenter de la connaissance macroscopique qu'il a de la matière. Il doit pouvoir faire un saut dans le monde microscopique c'est-à-dire s'aventurer dans un monde où son intuition n'est plus fondamentalement au rendez-vous. Ici, il n'était pas sans importance de revenir sur les implications idéologiques et méthodologiques qui ont conduit les physiciens à rompre avec l'illusion d'un savoir déterministe consolidé par la mécanique classique d'une part et celle du fondationnalisme d'autre part.

En effet, à partir de la pensée positiviste jusqu'à la mécanique newtonienne, le débat sur le réalisme physique semblait être résolu définitivement. Nous le disons parce que, au cours de cette période les idées des métaphysiciens étaient semblables à de « *l'eau versée sur le dos d'un canard* ». C'est dire que ces idées étaient sans considération. Partant de cela, le rejet de la métaphysique se justifie par son inadéquation avec la méthode expérimentale pensée par Claude Bernard. Il s'agissait d'un projet d'assainissement consistant à faire du vérificationnisme, le critère de démarcation entre science et non-science. Ici, le réalisme physique représentait « *la brique élémentaire* »³⁴¹ et l'atome, la plus petite entité de la matière. Mais les découvertes enregistrées en physique quantique ont affecté la conception que les scientifiques avaient de la matière. Les textes de Schrödinger nous ont permis de justifier ce postulat. En fait, à travers les ouvrages d'Erwin Schrödinger, nous avons pu justifier pourquoi la matière a cessé d'être une brique élémentaire pour devenir une baguette ou un paquet d'onde. Ce changement de paradigme a donné lieu à ce qu'il convient d'appeler « *phénomène* » quantique.

En claire, l'examen des errements de la physique classique dans notre première partie de travail, nous a finalement permis de conclure sous la plume de Schrödinger que l'hypothèse d'une science dont la probabilité est égale à l'unité est une pure illusion. Par cette conclusion,

³⁴¹ E. SCHRODINGER, *Physique quantique et représentation du monde*, Paris, Seuil, 1992, p. 33.

il nous a été donné de déceler une rupture entre l'évolution des idées classiques et celles en usage dans la physique des particules. En fait, le but de cette rupture consistait à redéfinir la matière, mieux le réel. Fondamentalement, nous avons montré que la microphysique porte sur des éléments hyper petits. Par contre, cela n'était pas observable dans la physique dite classique, parce que la particularité de celle-ci reposait sur l'étude des billes et des points. La superposition d'états donne lieu à ce qu'il a convenu d'appeler : la réalité quantique. Cette réalité, encore identifiée en termes de fonction d'onde selon qu'on est chez Schrödinger, est manifeste dans les éléments tels que les électrons, les protons et les neutrons. Nous entendons par fonction d'onde un objet étendu et flou du fait de son caractère ondulatoire. La nature essentiellement de la matière ne pouvait pas être à l'abri de quelques insuffisances. Nous parlons d'insuffisances parce que cette théorie ne nous livre qu'une connaissance partielle de la matière. Il nous a alors fallu examiner la thèse de l'incomplétude de la conception de la matière.

La tâche de notre seconde partie intitulée « *les insuffisances d'une conception partielle de la matière à l'échelle quantique* » consistait en une interrogation d'une impossibilité de la saisie de la réalité dans sa totalité. La critique fondamentale portait sur l'infécondité d'un réductionnisme de la matière à sa seule réalité ondulatoire. Il s'agissait par exemple des difficultés à saisir l'énergie en dehors de la masse. C'est d'ailleurs dans cette partie que nous avons analysé le statut de la corpuscularité dans la physique de l'infiniment petit. De notre point de vue, la meilleure conception de la matière nécessite la conversion de la charge en masse et vice-versa. Nous avons parlé de la conversion parce qu'en voulant considérer seulement l'onde ou la charge, Schrödinger a ainsi négligé la notion de corpuscule dans la constitution de la matière. Cette négligence de la masse est dû au fait que notre auteur considère la masse comme une constante. Il est certes vrai que la masse d'un atome est une constante, mais le philosophe autrichien parle de l'atome comme si toute la physique quantique se résumait à lui (atome). De fait, sachant que $E=mc^2$, nous nous sommes interrogé sur le statut que Schrödinger accorde à la masse « m » dans la formule de l'énergie. Cette question rhétorique valait la peine. Nous le disons parce que, les lois de la mécanique quantique associent l'énergie et la masse pour une connaissance approximative de la matière.

Pour donner du crédit à notre objection de la pensée de l'auteur, nous sommes partis du postulat selon lequel les charges électriques de signes opposés s'attirent. Or, cette attraction en ce qui concerne la matière, empêche aux particules de la matière d'interagir sans tomber dans le noyau. Dans leur interaction, la masse cesse d'être uniquement ondulatoire comme le présageait Erwin Schrödinger, pour se manifester aussi comme un corpuscule. C'est ce constat qui nous a permis de montrer que la non prise en charge du corpuscule empêche une

connaissance objective de la matière. De manière précise, notre tâche consistait à réexaminer la notion de masse pour éviter une connaissance partielle et parcellaire de la matière à l'ère de la physique des particules. Ce caractère double de la matière a suscité l'idée de complémentarité dans la physique moderne. Finalement, nous avons montré que la physique des particules, à la lumière de Schrödinger ouvre alors la porte à une métaphysique expérimentale, scientifiquement connue sous l'appellation de la microphysique.

La troisième et dernière partie de notre analyse intitulée « *la microphysique ou l'opportunité d'une conception réaliste de la matière* » portait sur la fécondité théorique de la conception schrodingerienne de la matière. En fait, nous avons présenté la fonction d'onde, mieux l'expérience de chat de Schrödinger comme une garantie de la permanence et de la pertinence de l'indéterminisme ou de la probabilité en science. C'était alors l'occasion pour nous de présenter la plus-value de notre thématique. En claire, il était surtout question de ressortir la fécondité théorique de la conception schrodingerienne de la matière. Conception qui nous situe finalement dans une philosophie de la physique quantique. Sachant que cette physique n'est pas fondamentalement une science fondée sur l'atome, mais plutôt sur les particules subatomiques, nous avons démontré que c'est elle (physique quantique) qui est au centre et à l'origine du concept d'existence ou d'humanisme aujourd'hui. De façon claire, il nous revenait de montrer comment se compose désormais la matière, qui ne peut s'expliquer exclusivement en physique, encore moins essentiellement en métaphysique. Contrairement à la métaphysique classique fondée sur les essences non référencées, la métaphysique moderne ou encore expérimentale, voire microphysique, est fondée sur les microparticules, connaissables par le vecteur d'état de Schrödinger. À ce niveau, la nature corpusculaire et ondulatoire d'une particule, avons-nous montré, se matérialise par les notions de « *réalité observable et de réalité imaginaire* ».

De façon chronologique, le rapprochement entre la métaphysique et la fonction d'onde nous a permis de justifier la pertinence et la permanence de l'apport de la physique quantique dans la conception de la matière. La crédibilité de ce postulat a été démontrée par la théorie de plurivers, la théorie des cordes, de la décohérence et surtout la théorie des « *états relatifs* ». Cette dernière théorie (*états relatifs*) a été présentée comme solution au paradoxe du chat mort et vivant de Schrödinger. Ce paradoxe est en effet la résultante d'une équation à double variable, dont l'une est réelle et l'autre imaginaire.

Ces trois parties réunies constituent l'analyse que nous avons construite autour de notre thématique intitulée « *penser la matière à l'ère de la mécanique quantique. Une analyse des textes d'Erwin Schrödinger* ». Au regard de tout ce qui précède, nous pensons que pour tout

homme qui « *écoute la science* »³⁴² le phénomène-matière, auquel la physique quantique s'est évertuée reste un projet qui incarne aussi bien une actualité qu'une pertinence épistémologique, à laquelle on peut aussi associer une fécondité indéniable notamment sur le plan scientifique et philosophique. Elle permet en effet de redéfinir la matière ou le réel non plus comme un objet donné essentiellement empiriquement, mais comme « *un phénomène-potentiel* ». Par cette définition, on sait que le réel peut être physique ou imaginaire. Il n'est plus une donnée inerte, mais plutôt une « *construction scientifique* ».

De façon claire, en ramenant l'expérience des chocs des objets en microphysique, c'est-à-dire en remplaçant les boules par exemple par les photons, la collision des deux photons donnera naissance non pas à une déviation des trajectoires initiales des deux photons, mais à une fonction d'onde. Sachant que chaque photon est une fonction d'onde, le résultat annule l'hypothèse d'une opposition de force. Il implique, comme chez Schrödinger, l'idée d'une superposition entre les forces. Nous savons que lors d'un choc entre deux photons, on a :

$$\psi_1 + \psi_2 = \psi$$

Cette formule nous permet de comprendre que lors de la rencontre entre les deux photons, il n'y a pas opposition de trajectoire mais plutôt complémentarité et superposition des états de la matière. Ce principe de superposition soumet le chercheur à des expériences identiques à celle construite par Schrödinger dans sa théorie du chat mort et vivant. En réalité, de la même manière que l'on ne peut dire avec exactitude si le chat de Schrödinger est mort ou vivant, mais plutôt qu'il est soit à la fois mort et vivant, le théoricien de la matière ne peut pas démontrer avec certitude à quel moment la matière entre en interaction avec l'antimatière.

En clair, réfléchir sur la « *matière l'échelle quantique* », c'est exposer une préoccupation fondamentale non seulement pour la philosophie et la science, mais également pour l'humanité en général. Schrödinger mérite d'être relu pour parler véritablement de la matière. Nous conseillons la lecture de ses textes parce qu'elle facilite la compréhension du rôle incontournable de la complémentarité dans les sciences contemporaines. La vision philosophique de Schrödinger est chargée d'une valeur et d'un intérêt multiple. L'une de ses valeurs se trouve dans le développement de l'industrie de communication à la suite des objections émises à la théorie ondulatoire de la matière. Sa portée épistémologique est matérialisée par la critique farouche du dualisme de l'esprit et de la matière ; laquelle critique a conduit au projet d'un « *monisme substantialiste* », identité du sujet et de l'objet. Sa valeur pédagogique résulte de la relation d'indétermination qu'on peut lire à partir de son équation de

³⁴² J. TOUSSAINT DESANTI, « écouter la science » in *où en est la psychologie ? Psychanalyse et figure de la modernité*, Toulouse, Eras, 2000, pp. 99-100.

chat mort et ou vivant. Cette relation implique que l'on ne puisse pas déterminer expérimentalement avec la même précision la position et la quantité de mouvement d'un électron. L'analyse de ces valeurs nous a permis de dire que Schrödinger a tracé les fondamentaux de la physique moderne que sont : l'incertitude, la démesure, la probabilité et la délocalisation.

BIBLIOGRAPHIE

I- OUVRAGES DE SCHRÖDINGER, Erwin

- *Mind and matter*, New York, Cambridge University Press, 1959.
- *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie* (1967), traduit de l'anglais par Léon Keffler, Paris, Cristian Bourgeois Éditeur, 1986.
- *L'esprit et la matière* (1958), traduction et introduction de M. Bitbol, Paris, Seuil, 1990.
- *Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie* (1986), traduit de l'anglais par Léon KEFFLER, Paris, Seuil, 1991.
- *Physique quantique et représentation du monde*, introduction et notes par Michel Bitbol, Paris, Seuil, 1992.
- *La nature et les grecs*, traduit par Michel Bitbol, Paris, Seuil, 1992.

II- AUTRES OUVRAGES

ALLÈGRE, Claude,

- *Dieu face à la science*, Paris, Fayard, 1997.
- *Un peu plus de science pour tout le monde*, Paris, Fayard, 2006.

AMOUGOU, Jean Bertrand, *Réflexions sur la rationalité. Tome II, Science (a)normales et problèmes de méthode(s) : P. M. Hebga, T. de Chardin, E. Morin, I. Prigogine et I. Stengers*, Paris, L'Harmattan, 2012.

AUFFRAY, Jean-Paul, *L'atome : un exposé pour comprendre, un essai pour réfléchir*, Paris, Flammarion, 1997.

BACHELARD, Gaston,

- *Le Nouvel esprit scientifique*, (1934) Paris, PUF, 1934.
- *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* (1938), Paris, J. Vrin, 1980.

BEAUREGARD, Mario, *Un saut quantique de la conscience. Pour se libérer enfin de l'idéologie matérialiste*, Paris, Dervy, 2018.

BERGSON, Henri, *L'évolution créatrice*, Paris, Alkan, 1907.

BERNARD, Claude, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris, Flammarion, 1966.

BINDÉ, Jérôme (Sld.), *Où vont les valeurs ? Entretiens du XIXe siècles*, Paris, Albin Michel, 2004.

BITBOL, Michel,

- *Théories quantiques et sciences humaines*, Paris, CNRS Editions, 2009.
- *Ondes matière et univers : relativité générale, physique quantique et applications*, (Sld.), Paris, EDP Sciences, 2018.

BODANIS, David, *E=mc². La biographie de la plus célèbre équation du monde*, Paris, Plon, 2000.

BÖHM, David, *La plénitude de l'univers* (1983), traduit et adapté par Tchalai Unger, Monaco, Editions du Rocher, 1987.

BOHR, Niels, *Physique atomique et connaissance humaine*, traduit par Edmond Bauer et Roland Omnès, Paris, Gallimard, 1991.

BOJOWAL, Martin, *L'univers en rebond. Avant le big bang*, Paris, Albin Michel, 2011.

BRICMONT, Jean et **ZWIRN**, Hervé, *Philosophie de la mécanique quantique*, Paris, Vuibert, 2015.

BROGLIE (De), Louis,

- *Continu et discontinu en physique moderne*, Paris, Albin Michel, 1941.
- *Certitude et incertitude de la science. Science d'aujourd'hui*, Paris, Albin Michel, 1966.
- *Les atomes*, Paris, Robert Laffont, 1975.
- *Continu et Discontinu*, Albin Michel, Paris, 1980.

CASSÉ, Michel, *Du vide et de la création*, Paris, Odile Jacob, 1993.

CHALMERS, Alan, *Qu'est-ce que la science ? Récents développements en philosophie des sciences : Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend*, Paris, La Découverte, 1987

CHANGEUX, Jean-Pierre, *L'Homme neuronal*, Paris, Fayard, 1983.

CHARDIN, Gabriel,

- *L'univers de Dirac-Milne. Un univers symétrique matière-antimatière*, Paris, Michel-Ange, 1996.
- *L'antimatière*, Paris, Flammarion, 1996.

CHARON, Jean-Émile, *L'esprit, cet inconnu*, Paris, Alain Michel, 1997.

CLOSETS (De), François, *Ne dites pas à Dieu ce qu'il doit faire*, Paris, Seuil, 2004.

COMTE-SPONVILLE, André et **FERRY**, Luc, *La sagesse des modernes*, Paris, Robert Laffont, 1998.

DALY, Lucien, *Découvrir Dieu grâce à la science : Itinéraire spirituel d'un scientifique*, Paris, L'Harmattan, 2010.

EBOUSSI BOULAGA, Fabien, (Sld.), *La dialectique de la foi et de la raison. Hommage à*

Pierre Meinrad Hebga, Yaoundé, Editions Terroirs, 2007.

EDELMAN, Gerald, *La science du cerveau et la connaissance*, Paris, Odile Jacob, 2007.

EINSTEIN, Albert,

- *Comment je vois le monde* (1934), traduit par Maurice Saponine, Paris, Flammarion, 1958.
- *L'évolution des idées en physique : des premiers concepts aux théories de la relativité* (1938), avec **INFELD**, Léopold, traduit par Maurice Saponine, Paris, Flammarion, 1982.
- *Letters on wave mechanics: Schrödinger, Planck, Einstein, Lorentz*, (1967), S.I., Philosophical Library/Open Road, 2011.
- *Conceptions scientifiques*, traduit par Maurice Saponine, Paris, Flammarion, 2016.

ESPAGNAT (D'), Bernard,

- *L'atome de sagesse*, Paris, Seuil, 1982.
- *Le réel voilé. Analyse des concepts quantiques*, Paris, Fayard, 1994.
- *Qu'est-ce que la matière, regards scientifiques et philosophiques*, Paris, La Flèche, 2000.
- *Traité de physique et de philosophie*, Paris, Fayard, 2002.
- *Le monde quantique. Les débats philosophiques de la physique quantique*, avec **ZWIRN**, Hervé (Sld.), Paris, Matériologiques, 2014.

FEYERABEND, Karl Paul,

- *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchique de la connaissance* (1975), traduit par Baudouin Jurdant et Ayer. Schlumberger, Paris, Seuil, 1979.
- *Adieu la raison* (1987), traduit par Baudouin Jurdant, Paris, Seuil, 1989.

FRITZSCH, Harald, *E=MC². Une formule qui change le monde* (1988), traduit de l'allemand par Annie Brignone, Paris, Odile Jacob, 1998.

GONDRAN, Michel, *Mécanique quantique. Et si Einstein et de Broglie avaient aussi raison?*, Paris, Matériologiques, 2014.

GREENE, Brian, *l'Univers élégant. Une révolution scientifique de l'infiniment grand à l'infiniment petit, l'unification de toutes les théories de la physique*, Paris, Robert Laffont, 2000.

HAWKING, Stephen,

- *Une brève histoire du temps. Du big bang aux trous noirs*, Paris, Flammarion, 1989.

- *Y'a-t-il un grand architecte dans l'univers*, avec **MLADINOW, Leonard**, Paris, Odile Jacob, 2014.

HEBGA, Pierre Meinrad, *La rationalité d'un discours africain sur les phénomènes paranormaux*, Paris, L'Harmattan, 1998.

HEISENBERG, Werner,

- *Physique et philosophie : la science moderne en révolution* (1958), traduit par Jacqueline Hadamard, Paris, Albin Michel 1961.
- *La nature de la physique contemporaine* (1953), traduit par Ugné Karvelis, Paris, Gallimard, 1962.
- *La partie et le tout. Le monde de la physique atomique* (1969), traduit par Paul Kessler, Paris, Albin Michel, 1972.

IMHOF, Jean-Paul, *Introduction au calcul des probabilités*, Paris, Gauthier, 1969.

KAHN, Jean- François, *Où va-ton ? Comment on y va... Théorie du changement par la recomposition des invariances*, Paris, Fayard, 2008.

KAKU, Michio,

- *Visions. Comment la science va révolutionner le XXI^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1999.
- *La physique de l'impossible* (2008), traduit de l'américain par Céline Laroche, Paris, Seuil, 2011.

KANT, Emmanuel, *Critique de la raison pure* (1781), traduit par Alain Renault, Paris, Flammarion, 2006.

KOUMAR, Manjit, *Le grand roman de la physique quantique : Einstein, Bohr et la débat sur la nature de la réalité* (2007), traduit par Bernard Sigaud, Paris, Jean-Claude Lattès, 2011.

KOYRE, Alexandre, *Du monde clos à l'univers infini* (1957), traduit par Raïssa Tarr, Paris, PUF, 1962.

LACOSTE LAREYMONDIE, (De) Marc, *Une philosophie pour la physique quantique. Essai sur la non-séparabilité et la cosmologie de A.N. Whitehead*, Paris, L'Harmattan, 2006.

LAKATOS, Imre, *The Methodology of scientific Research Programmes* (1978), New York, Cambridge University press, 1986.

LALOË, Franck, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique?*, Paris, CNRS Editions, 2017.

LAPLACE (De), Pierre Simon, *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, Guther-Villars, 1921.

- LASERNA**, David Blanco, *L'espace est une question de temps : Einstein et la relativité*, Paris, RBA, 2013.
- LEROUX**, Jean, *Une histoire comparée de la philosophie des sciences. Volume 2. L'empirisme logique en débat*, Laval, PUL, 2010.
- LOUIS-GAVET**, Guy, *La physique quantique*, Paris, Eyrolles, 2014.
- MACE**, Arnaud, *La matière*, Paris, Flammarion, 1998.
- MINYEM**, Charles Jean Marie, *Descartes et le développement*, Paris, L'Harmattan, 2011.
- MOLES**, Abraham André, *Les sciences de l'imprécis*, Paris, Seuil, 1995.
- MONNOYEUR**, Françoise (Sld.), *Qu'est-ce que la matière ? Regards scientifiques et philosophiques*, Paris, Librairie Générale Française, 2000.
- MONOD**, Jacques, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, 1973.
- MORIN**, Edgar, *La méthode III. La connaissance de la connaissance*, Paris, Seuil, 1986.
- MOTL**, Lubos, *L'équation Bogdanov. Le secret de l'origine de l'univers*, Paris, Presse de la Renaissance, 2008.
- MOUCHILI NJIMON**, Issoufou Soulé,
- *Qu'est-ce que L'humanisme Aujourd'hui ? Vers une tentative « Bio-centrique » ?*, Paris, L'Harmattan, 2012.
 - *De la signification du monde et du devenir de l'existence*, Paris, L'Harmattan, 2017.
 - *Valeur, Culture et science*, Paris, L'Harmattan, 2020.
 - *Existence et science. Essai sur la croissance technologique*, Paris, L'Harmattan, 2022.
- NEWTON**, Isaac,
- *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (1687), traduction de la marquise du Chatelet, 1758.
 - *Traité d'optique* (1704), traduit par Morat Coste, Paris, Librairie Leroy, 1787.
- NIKSERESHT**, Iraj, *Démocrite, Platon et La Physique des particules élémentaires*, Paris, L'Harmattan, 2007.
- OMNES**, Roland, *Comprendre la mécanique quantique*, Laval, EDP-Science, 2001.
- ONFRAY**, Michel, *Cosmos. Une Ontologie matérialiste*, Paris, Flammarion, 2015.
- PENROSE**, Roger, *Les ombres de l'esprit. À la recherche d'une science de la conscience*, Paris, Inter Éditions, 1995.
- PLANCK**, Max, *Initiation à la physique* (1934), Paris, Flammarion, 1993.
- PLATON**, *Timée*, traduit par Emile Chambry, Paris, Classiques Garnier, 2017.

PLOTIN, *Ennéades I*, traduit par Emile Bréhier, Paris, Les belles lettres, 1954.

POINCARÉ, Henry, *La science et Hypothèse* (1902), s.l., éditions du groupe ebook gratuit, 2007.

POPPER, Karl Raimund,

- *Conjectures et réfutations* (1963), traduit par Michelle Irène et Marc B. de Launay, Paris, Payot, 1985.
- *La théorie quantique et le schisme en physique*, traduit par Malolo Dissakè, Paris, Hermann, 1996.

REEVERS, Hubert,

- *Dernières nouvelles du cosmos. Vers la première seconde*, Paris, Seuil, 1994.
- *La première seconde*, Paris, Seuil, 1995.

RONAN, Colin, *Histoire mondiale des sciences*, Paris, Seuil, 1988.

RUSSEL, Bertrand, *Problèmes de philosophie*, Paris, Payot, 1989.

SCHOPENHAUER, Arthur, *Le monde comme volonté et comme représentation* (1818), traduit par Auguste Bureau, Paris, PUF, 1966.

SEBESTIK, Jean et **SOULEZ**, Antonia (Sld.), *Le Cercle de Vienne, doctrines et controverses*, Paris, Méridiens Klincksieck, 1986.

SERRES, Michel, *Les origines de la géométrie*, Paris, Flammarion, 1957.

SINDA, Martial, *Le messianisme congolais et ses incidences politiques*, Paris, Payot, 1972.

STAPP, Henry, *Le monde quantique et la conscience. Sommes-nous des robots ou les acteurs de notre propre vie ?*, traduit par Alessia Weil, Paris, Dervy, 2016.

STAUNE, Jean, *Explorateurs de l'invisible : une plongée au cœur des grands mystères de l'univers et de nous-mêmes*, Paris, Tredaniel, 2018.

STEWART, Ian, *Dieu joue-t-il aux dés ? Les mathématiques du chaos* (1989), traduit par Martin Robert, Paris, Flammarion, 1992.

TANNOUDJI, Cohen Gilles, et **SPIRO**, Michel, *La matière-Espace-Temps. La logique des particules élémentaires*, Paris, Fayard, 1986.

THUAN, Thrin Xuan,

- *Les mélodies secrètes. Et l'homme créa l'univers*, Paris, Fayard, 1988
- *Le chaos et l'harmonie. La fabrication du réel*, collection « le temps des sciences », Paris, Fayard, 1998.
- *L'infini dans la paume de la main*, avec **RICARD**, Mathieu, Paris, Fayard, 2000.
- *Le cosmos et le lotus*, Paris, Albin Michel, 2011.

- *La plénitude du vide*, (avec **RICARD**, M.) Paris, Albin Michel, 2016.

WEINBERG, Steven, *Le monde des particules*, « pour la science », Paris, Seuil, 1985.

WITTGENSTEIN, Ludwig, *Tractatus logico-philosophicus* (1921) suivi des *investigations philosophiques* (1953), traduit par Pierre Klossowski, Paris, Gallimard, 1961.

III- ARTICLES

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette, « L'évolution de la complémentarité dans les textes de Bohr (1927-1939), in *Revue d'histoire des sciences*, tome 38, n°3-4, 1985, pp. 231-250.

BRENY, Henri, « Hasard et science », in *Revue des questions scientifiques*, 1982, pp. 31-64.

COUMET, Ernest, « La théorie du hasard est-elle née par hasard ? », in *Annales. Economies, Sociétés, Civilisations*, n° 3, 1970, pp. 574-598.

EBERHARDT, M, « *Les physiciens saisis les psys* » in *Science et vie*, n°750, Mars 1980.

KLEIN, Étienne,

- « La physique quantique et ses interprétations. À l'occasion d'un centenaire », in *Études*, n°5, tome 394, 2001, pp. 629-639.
- « Introduction au débat quantique », in *Études*, N°6, Décembre 1991 ou « Introduction au débat quantique », in *étude*, t. 135, n°6, Déc. 1991.

MONTMINY, Jacques, « Origines et fondements philosophiques de la relativité : les conceptions de Mach, Galilée et Einstein », in *Philosophiques*, n°1, 1995, pp. 21-34.

PATY, Michel, « Einstein et la pensée de Newton », in *La pensée*, n°259, septembre 1987, pp. 17-37.

SHIMONY, Abner, « Réflexion sur la philosophie de Bohr, Heisenberg et Schrödinger », in *Journal de physique*, 1981, pp. c281-c298.

YMÉLÉ, Jean-Pierre, et **KWATO NJOCK**, Moïse, « Le principe de complémentarité 70 ans après Einstein dans la crise du paradigme », in *Mâat. African philosophical Review*, n°2, 2000, pp. 33-62.

IV- THÈSES ET MÉMOIRES

IV-1- MÉMOIRES

MBOUGNIA MAKOUANG, Elvire Flore, « Trinh Xuan Thuan sur la question de la cosmologie scientifique : Une analyse de *La Mélodie Secrète* (1988), Mémoire soutenu en vue de l'obtention du diplôme de Master en Philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences

Humaines de l'Université de Yaoundé I, sous la direction du professeur Issoufou Soulé Njimom Mouchili, 2021.

NTETNDAP FOFAN, Issouf, « La science comme métaphysique de la matière dans *Les principes mathématiques de la philosophie naturelle* de Newton », Mémoire soutenu en vue de l'obtention du diplôme de Master en Philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I, sous la direction du docteur Yméélé Jean Pierre, 2014.

OUM MAO, Augustin., « Les incidences épistémologiques de la théorie du réel voilé de B. D'ESPAGNAT : Plaidoyer pour une science ouverte », Mémoire soutenu en vue de l'obtention du diplôme de Master en Philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I, sous la direction du professeur Issoufou Soulé Njimom Mouchili, 2020.

YMÉLÉ, Jean Pierre, « Le débat Bohr-Einstein et le problème de la réalité en physique contemporaine », Mémoire soutenu en vue de l'obtention du diplôme de Maîtrise en Philosophie Université de Yaoundé, Sous la direction de Joseph Ngoué, 1993.

IV-2- THÈSES

DJONSALA, Dali, « Les implications de l'ingénierie génétique et des NBIC sur l'humain : une réflexion sur les technosciences du vivant », Thèse soutenue en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/Ph.D en Philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I, sous la direction du professeur Issoufou Soulé Njimom Mouchili, 2023.

NGOUWOUO, MOHAMED Moustapha, « La fonction épistémologique de la théorie des mondes parallèles en physique », Thèse soutenue en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/Ph.D en Philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I, sous la direction du professeur Issoufou Soulé Njimom Mouchili, 2021.

NZIÉ LAMÈRE, Oussénatou, « Jean-Pierre CHANGEUX Sur la question du fondement ontogénétique de la nature du sujet pensant », Thèse soutenue en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/Ph.D en Philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I, sous la codirection des professeurs, Lucien Ayissi et Jacques Chatue, 2023.

PONDY, Roger, « Le réel quantique : entreprise microphysique ou perspective métaphysique », Thèse soutenue en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat/Phd en Philosophie à la Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Yaoundé I,

sous la direction du professeur Issoufou Soulé Njimom Mouchili, 2022.

V- USUELS

COMTE-SPONVILLE, André, *Dictionnaire philosophique*, nouvelle édition revue et augmentée, Paris, PUF, 2001.

FOULQUIE, Paul, *Dictionnaire de la langue philosophique*, Paris, P.U.F., 1962.

LALANDE, André, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris, P.U.F., 4^e édition, 1997.

NADEAU, Robert, *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*, Paris, PUF, 1999.

Xuan THUAN, Trinh, *Dictionnaire amoureux du ciel et des étoiles*, Paris, Fayard, 2009.

VI- WEBOGRAPHIE

<https://www.astrosurf.com/>, consulté le 25 Février 2022.

<https://www.futura-sciences.com>, consulté le 17 Janvier 2023.

<https://www.persee.fr/doc>, consulté le 10 Avril 2023.

<https://hal.science/jpa-00220690>, consulté le 31 Mars 2023.

TABLE DES MATIÈRES

<i>SOMMAIRE</i>	<i>i</i>
<i>DEDICACE</i>	<i>ii</i>
<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>iii</i>
<i>RÉSUMÉ</i>	<i>iv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>v</i>
<i>INTRODUCTION GÉNÉRALE</i>	1
<i>PREMIÈRE PARTIE :ERWIN SCHRODINGER SUR LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA CONCEPTION MICROPHYSIQUE DE LA MATIÈRE</i>	
Introduction partielle	8
<i>CHAPITRE I : LES RAISONS D'UNE VOLONTÉ DE DÉPASSEMENT DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE DE LA MATIÈRE</i>	
1- Les apories de l'approche positiviste de la matière.....	9
2- Erwin Schrödinger sur l'essence de la matière.....	13
3- Le phénomène quantique ou la fin du mystère entre Nominalisme et Réalisme	19
<i>CHAPITRE II : LA MÉCANIQUE QUANTIQUE : UNE RÉVOLUTION DANS LA CONCEPTION DE LA MATIÈRE</i>	
1. De l'incongruité du déterminisme d'Hippocrate et de Newton dans la compréhension du réel.....	24
2- L'idée de la non inertie dans la perception du réel scientifique	29
3- De la discontinuité de la matière	35
<i>CHAPITRE III : ERWIN SCHRÖDINGER SUR LA QUESTION DU REALISME MICROPHYSIQUE</i>	
1 : Schrödinger sur la conception de la réalité quantique : au-delà du débat Bohr-Einstein ..	39
2- Le rejet d'une prépondérance de la corpuscularité	45
3- Erwin Schrödinger sur la question de la mesure (fonction d'onde, fonction d'état et l'équation : le chat de Schrödinger)	51
Conclusion partielle	56
<i>DEUXIEME PARTIE :LES INSUFFISANCES D'UNE CONCEPTION PARTIELLE DE LA MATIÈRE À L'ECHELLE QUANTIQUE</i>	
Introduction partielle.....	58
<i>CHAPITRE IV : DE L'IRREDUCTIBILITE DES ELEMENTS SUBATOMIQUES AU PRINCIPE D'ONDULATION</i>	
1- Des difficultés de saisir l'énergie en dehors de la masse	59

2- De l'inévitabilité du principe de complémentarité dans la mécanique quantique	63
3- Pour une reconsidération de la doctrine de Copenhague (onde-corpuscule).....	70
CHAPITRE V : DE L'INCONGRUITE DE LA NON PRISE EN CHARGE DE LA MASSE ET LA POSITION.....	75
1- La position : un facteur déterminant des phénomènes subatomiques.....	75
2- Peut-on réduire la mécanique quantique à l'abstraction énergétique ?.....	81
3- Peut-on en dehors de la masse établir la notion de force ?	86
CHAPITRE VI : LA CRITIQUE DE L'INCOMPLITUDE D'UNE CONCEPTION DU PHENOMENE QUANTIQUE.....	92
1- L'erreur d'une exclusion de la force dans le phénomène quantique	92
2- L'enjeu de la corpuscularité dans le constituant quantique.....	96
3- La nécessité d'une conception objective de masse	100
Conclusion partielle	104
TROISIÈME PARTIE : LA MICROPHYSIQUE OU L'OPPORTUNITÉ D'UNE CONCEPTION RÉALISTE DE LA MATIÈRE	105
Introduction partielle.....	106
CHAPITRE VII : DE L'IMPOSSIBLE DÉSolidARISATION DE LA MASSE ET DE L'ENERGIE DANS LA CONCEPTION QUANTIQUE DE LA MATIÈRE	107
1- Vers une nouvelle interprétation du corps (masse et énergie)	107
2- La matière potentiellement objet de la métaphysique.....	112
3- Le phénomène quantique : du probabilisme scientifique.....	118
CHAPITRE VIII : LA FÉCONDITÉ THÉORIQUE DE LA CONCEPTION SCHRODINGERIÈNE DE LA MATIÈRE A L'ECHELLE QUANTIQUE	122
1- L'adaptation de la recherche aux fondamentaux de la physique quantique.....	122
2- Vers une transivité entre le réel lointain et le réel proche (énergie et masse).....	126
3- Le paradigme quantique : une chance pour la recherche de la précision en science	129
CHAPITRE IX : LA PHYSIQUE QUANTIQUE OU L'EXTENSION DE LA CONNAISSANCE DE LA MATIÈRE	136
1- La matière subatomique ou la justification de la pertinence et de la permanence de la probabilité en science	136
2- L'intérêt pédagogique et épistémologique de la vision schrodingerienne de la matière.....	140
3- La physique quantique ou l'extension de la connaissance de l'esprit.....	146
Conclusion partielle	152
CONCLUSION GENERALE.....	153
BIBLIOGRAPHIE	159
TABLE DES MATIÈRES.....	169