

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

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

UNITÉ DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES
HUMAINES SOCIALES

DÉPARTEMENT DE PHILOSOPHIE



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

POST GRADUATE COORDINATE
TRAINING SCHOOL FOR SOCIAL HUMAN
AND EDUCATIONAL SCIENCES

DOCTORAL RESEARCH UNIT FOR
SOCIAL SCIENCES

DEPARTMENT OF PHILOSOPHY

LA FONCTION ÉPISTÉMOLOGIQUE DU HASARD ET DU TATONNEMENT EN SCIENCE

Mémoire soutenu publiquement en vue de l'obtention du diplôme de Master en philosophie

Spécialité : Épistémologie et Logique

par

Marc Bertin NSONO

Licencié en Philosophie

Matricule : 16W608



Jury :

Président : M. MINKOULOU Thomas, MC

Rapporteur : M. MOUCHILI NJIMOM Issoufou Soulé, Pr

Membre : NLEND Jacques, CC

Le 07 juillet 2025

SOMMAIRE

DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : LE PRINCIPE D'INCERTITUDE : FONDEMENT DU HASARD ET TATONNEMENT EN SCIENCE	12
CHAPITRE I : L'ILLUSION D'UNE SCIENCE EXACTE : LE DIEU DE LA SCIENCE JOUE AUX DÉS	14
CHAPITRE II : LE DYNAMISME ET LA NON-INERTIE DU REEL : SOURCE DU HASARD ET DU TATONNEMENT	28
CHAPITRE III : HASARD ET TATONNEMENT : FACTEURS DE PROGRES DE LA SCIENCE	42
DEUXIEME PARTIE : INTERROGATIONS SUR LA CREDIBILITE D'UNE SCIENCE OUVERTE AU HASARD ET AU TATONNEMENT	56
CHAPITRE IV : LA REVOLUTION QUANTIQUE : UNE PERTURBATION DE LA REALITE ONTOLOGIQUE	58
CHAPITRE V : HASARD ET TATONNEMENT : DES ATTEINTES SERIEUSES A LA RATIONALITE SCIENTIFIQUE ?	72
CHAPITRE VI : METAPHYSIQUE ET LOGIQUE SOUS L'EMPRISE DU HASARD ET DU TATONNEMENT	87
TROISIEME PARTIE : LA FECONDITE THEORIQUE DU HASARD ET DU TATONNEMENT EN SCIENCE	100
CHAPITRE VII : HASARD ET TATONNEMENT : DES CATALYSEURS DE LA RECHERCHE	102
CHAPITRE VIII : LA SCIENCE : UNE VALEUR APPROCHEE DE LA VERITE	116
CHAPITRE IX : SCIENCE, HASARD ET TATONNEMENT : DE LEUR INCIDENCE SUR LA PHILOSOPHIE	131
CONCLUSION GENERALE	143
BIBLIOGRAPHIE	148
TABLE DES MATIERES	160

A la mémoire de ma grand-mère,
NKOUDOUGANE

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont d’abord à l’endroit de notre directeur de mémoire, le Professeur Issoufou Soulé MOUCHILI NJIMOM pour la disponibilité et la patience dont il a fait montre pendant la conduite de cette recherche.

Nous remercions également l’ensemble des enseignants du département de philosophie de la FALSH de l’Université de Yaoundé I pour leurs enseignements et leurs précieux conseils qui nous ont été une source d’inspiration tout au long de cette recherche.

Qu’il nous soit permis d’affirmer notre reconnaissance à notre mère MEKONG ODOUGANE, ainsi qu’à nos tantes Elisabeth Félicité NKOLO, Martine-Solange MESSENDE, notre oncle Pierre Parfait ESSALA MBIDA et à l’ensemble de notre famille.

Nous ne saurions clore cette page de remerciements sans marquer notre profonde gratitude à M. François MVONDO NGONO et à M. Joseph MBIANG respectivement proviseur et professeur de SVT au Lycée de Mbalmayo Oyack, qui nous ont soutenu pour l’obtention de notre probatoire et notre baccalauréat, ainsi qu’à tous nos ami(e)s de cette époque.

Que ceux dont nous n’avons pas fait mention, et qui, de façon directe ou indirecte nous ont apporté leur soutien, trouvent ici notre profonde gratitude.

RESUME

L'imagerie populaire et ceux qui sont encore aliénés par la science classique pensent que le hasard et le tâtonnement sont des obstacles épistémologiques, ils sont à exclure de l'univers scientifique. En effet, la science classique avait écarté le hasard et le tâtonnement, soutenant que la science est exacte, précise, répétitive et prédictive. Pour les scientifiques classiques, Dieu ne saurait jouer aux dés ; tout ce qui arrive a une cause, le hasard n'existe pas, et le scientifique ne tâtonne pas : il voit les choses clairement grâce à des méthodes et techniques bien définies et appropriées. Cette image de la science a régné pendant des siècles, et a façonné la conscience collective. On la pensait indépassable et irremplaçable, on pensait le règne du Dieu-non-joueur-de-dés éternel. Mais rien n'est éternel en science. La science est tout le temps en mutation, et elle est toujours perfectible. C'est ainsi qu'avec la découverte de la physique quantique par Max Planck en 1900, une véritable révolution s'est produite. Cette révolution a apporté des « innovations scandaleuses » comme les avait qualifiées Robert Blanché, car en rupture et en contradiction totale avec les préceptes et principes qui avaient jusque-là gouverné la vie de l'homme et du monde pendant des siècles. Il s'est avéré, avec la naissance de la physique quantique, qu'une nouvelle tradition scientifique et une nouvelle façon de voir et comprendre le monde étaient envisageables ; l'horloge newtonienne pouvait être remplacée. La science n'est plus déterministe, elle est désormais indéterministe. Cette indétermination provient de la dualité onde-corpuscule qui caractérise une particule quantique. Bref les bases conceptuelles de la science classique que sont le déterminisme, l'objectivité, l'uniformité des lois de la nature et la localité vont être remplacées par l'indéterminisme, l'objectivité faible, la non-uniformité des lois de la nature et la non-localité. L'entrée dans cette nouvelle science a exigé ou exige des changements fondamentaux, des concepts nouveaux. Car le réel n'est plus une réalité stable et continue, mais une réalité instable du fait du mouvement qui l'anime et discontinue. En clair, l'indéterminisme a eu une incidence sur la perception ontologique du réel. La physique quantique a donc révélé l'importance du hasard et du tâtonnement ; avec elle, nous comprenons que le hasard et le tâtonnement fondent les progrès scientifiques en ceci qu'ils rendent urgent la critique, ils luttent contre le dogmatisme scientiste et ils catalysent la recherche en crédibilisant la falsifiabilité poppérienne. La difficulté de la saisir avec une objectivité forte est une invite, une ouverture à la transdisciplinarité. Dieu joue donc aux dés ; et dans ce règne du Dieu-joueur-de-dés, le hasard et le tâtonnement ne peuvent plus être considérés comme des obstacles épistémologiques, mais des éléments nécessaires et indispensables pour la science.

ABSTRACT

Popular imagery and those who are still classical science lunatics think that, hazard and groping are epistemological obstacles, they should then be expelled from the scientific universe. In fact, classical science had excluded fortuity and groping. Arguing that, science is exact, precise, repetitive and predictive. For the Classical Scientifics, God wouldn't know how to play dices; everything that happens has a course, fortuity does not exist, and the scientific does not grope, he sees things clearly thanks to methods and technics well defined and appropriate. This image of science reigned for centuries and shaped the collective conscience. It was thought unsurpassable and unique; the reign non-dices player God was taught eternal. But nothing is eternal in science. Science is constantly changing, and it is always upgradable. This is how with the discovery of the quantum physics by Max Plank in 1900, a real revolution occurred. This revolution came along with "scandalous innovations" as Robert Blanche qualified them, as they were completely out of line and in contradiction with precepts and principles which till then governed the man's life and the world for decades. It is therefore proven that, with the rise of the quantum physics, that a new scientific tradition and a new way of seeing and understanding the world were possible; the Newtonian clock could be replaced. Science is no longer determinist it is henceforth indeterminist. This indetermination comes the wave-particle duality which characterises quantum particle. In short the conceptual basis of classical science: the determinism, objectivity, uniformity of the laws of nature and locality will be replaced by indeterminism, low objectivity, non-uniformity of the nature's laws and the non-locality. Entering this new science required or requires fundamental changes, of new concepts. So the reel is no longer a stable and discontinuous reality. In other words, indeterminism had an impact on the ontological perception of reality. So quantum physics has brought to the day light the importance of luck and groping; with it, we understand that scientific progress relies on hazard and groping as they excite critics and permit to fight against scientific dogmatism and they catalyse research giving credibility to Popperian falsifiability. The difficulty of mastering it with strong objectivity is a call, a transdisciplinary openness. God does play dices and in this reign of the dices player God, the hazard and groping can no longer be considered as epistemological obstacles, but elements with which science cannot temper.

INTRODUCTION GENERALE

En 1991, Ivar Ekeland publia un ouvrage au titre troublant, intrigant, curieux et évocateur : *Au hasard : la chance, la science et le monde*. En d'autres termes, Ivar Ekeland veut nous faire comprendre que la science et le monde appartiennent au hasard ou bien ils sont le fruit du hasard. Dans cet ouvrage, il nous enseigne que le hasard peut se comprendre de six façons différentes : comme aléa, comme destin, comme anticipation, comme chaos, comme risque et enfin comme statistique. Le hasard est donc riche et fructueux. C'est pourquoi il affirme dans cet ouvrage que : « *comme Janus, le hasard a plusieurs visages, et c'est la richesse de ces multiples faces que j'ai voulu dépeindre* »¹. Les six faces du hasard qu'il dépeint lui viennent de l'histoire des sciences et du monde. Mais comment comprendre que la science, qui est l'une des manifestations les plus parfaites de l'intelligence humaine, où précision, prévision et exactitude sont tout le temps recherché, et le monde dont Newton nous avait vanté l'ordre soient gouvernés par le hasard ? Voilà un paradoxe. Le paradoxe s'accroît encore lorsque, dans nos modestes recherches, nous n'avons pas trouvé, ou nous n'avons pas encore trouvé, une définition générale de la science où le hasard apparaît ou transparaît clairement. La beauté et la noblesse de la philosophie résident aussi dans le fait qu'elle tente d'élucider les paradoxes. C'est l'un des grands délices et curiosités de notre travail.

Dans son ouvrage *La théorie physique son objet et sa structure*, Pierre Duhem nous donne de comprendre que la science est fondée sur les théories, elle a pour but d'expliquer le réel et de prévoir son évolution. Nous voulons adjoindre à cette première définition celle d'André Lalande. Dans le *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, André Lalande définit la science comme

« *Un ensemble de connaissances et de recherches ayant un degré suffisant d'unité, de généralité, et susceptibles d'amener les hommes qui s'y consacrent à des conclusions concordantes, qui ne résultent ni de conventions arbitraires, ni des goûts ou des intérêts individuels qui leur sont communs, mais de relations objectives qu'on découvre graduellement, et que l'on confirme par des méthodes de vérification définies* »².

Dans les deux définitions, le hasard et le tâtonnement n'y figurent pas. Mais, comme nous allons le voir, la science évolue, elle change : Mouchili Njimom nous enseigne qu'elle est par nature une activité humaine perfectible. C'est dans cette perfectibilité que réside sa crédibilité, sa puissance et sa domination. Penser que la science est certaine et précise comme l'avaient soutenu la science classique, le Cercle de Vienne, et aujourd'hui encore l'imagerie populaire est une illusion. Car la vérité scientifique est par nature approximative et provisoire. En science,

¹ I. Ekeland, *Au hasard : la chance, la science et le monde*, Paris, Seuil, 1991, p. 10.

² A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris, PUF, 2010, p. 954.

il est fondamental d'abandonner toute prétention à l'absolu, attitude qui animait les scientifiques classiques.

La science classique était fondamentalement déterministe. Toute chose avait une cause certaine, il n'y avait pas de place pour le hasard et le tâtonnement. Pour les scientifiques classiques comme Isaac Newton et Simon-Pierre de Laplace, l'univers est une grande horloge commandée par une main divine. Toutes les lois de cette horloge sont déterminées par cette main divine. Rien n'arrive par hasard. Les bases conceptuelles de la science classique sont : le déterminisme, l'objectivité, l'uniformité des lois de la nature et la localité. Il est à noter que cette vision de la science avait aussi prospéré parce que l'Eglise, qui croyait au déterminisme, l'avait soutenu. Car pour l'Eglise aussi, rien n'arrive par hasard, tout est prévu et ordonné par le Dieu omniscient et omnipotent.

Mais à partir de la renaissance, Francis Bacon dans son *Novum Organum*, posa les bases de l'empirisme moderne fondé sur l'induction. Au XVIII^{ème} siècle, l'un de ses héritiers David Hume précisément, commença à porter des critiques au déterminisme en remettant en question le principe de causalité. David Hume distinguait déjà les causes constantes uniformes et les causes irrégulières et incertaines. Mais ces travaux de Bacon et Hume n'étaient encore qu'embryonnaire. Les vraies critiques, celles qui vont ébranler le déterminisme et tout l'édifice de la science classique adviendront avec la naissance de la physique quantique en 1900 par le physicien allemand Max Planck. La physique quantique naît de l'incapacité de la physique classique à résoudre le problème du rayonnement du corps noir qui hantait Planck. Pour résoudre ce problème, Planck avait ingénieusement et astucieusement combiné la thermodynamique et l'électromagnétisme. Comme le souligne bien Dominique Lecourt,

« la mise en jeu des deux grandes synthèses théoriques du XIX^e s., l'électrodynamique et la thermodynamique, fournissait une solution physique absurde, prévoyant une émission d'énergie infinie. Plus que d'un désaccord expérimental, il s'agissait d'un véritable paralogisme »³.

La physique quantique nous donne de comprendre que le déterminisme, l'objectivité, l'uniformité des lois de la nature et la localité jadis célébrés dans la période classique ne sont pas valables au niveau quantique. Ce niveau quantique, dans notre travail, sera tantôt appelé univers quantique, monde microscopique ou encore monde *in vivo*. Le monde *in vivo* est un monde où règne le hasard, un hasard imbattable. A partir de la physique quantique, nous comprenons que cerner le hasard c'est comprendre merveilleusement la nature du réel. Lorsque

³ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, Paris, PUF, 2019, p. 917.

l'esprit de l'homme rencontre le hasard dans le réel, celui-ci procède par tâtonnement pour essayer de l'appréhender.

La fonction épistémologique du hasard et du tâtonnement en science, tel est le thème qui va mobiliser nos facultés intellectuelles. Le choix de ce thème se justifie par le fait que l'on a toujours ignoré voir méprisé le hasard et le tâtonnement en science. Les grands philosophes et scientifiques tels que : Aristote, Hippocrate, Isaac Newton, Simon-Pierre de Laplace, Albert Einstein pour ne citer que ceux-là, avaient exclu le hasard de l'univers scientifique. Pour ces derniers, le Dieu de la science ne joue pas aux dés. Or la science née à partir des travaux de Max Planck, c'est-à-dire la physique quantique, montre que Dieu est un excellent joueur de dés. Il sera donc nécessaire pour nous de prouver, avec les informations et connaissances que nous apporte la physique quantique, que le rêve hippocratique d'une science exacte et déterminée est irréalisable. L'une des curiosités de notre travail réside dans le fait que, Einstein qui travailla avec ardeur pour l'éclosion de la physique quantique, va préférer demeurer déterministe. En effet,

« Einstein, dans l'un de ses fulgurants articles de 1905, explique alors l'« effet photoélectrique », jusque-là paradoxal, comme dû à l'éjection des électrons atomiques par quanta d'énergie du rayonnement. Il avance un peu plus tard (1912) l'idée radicale que la discrétisation ne concerne pas le seul échange d'énergie, mais caractérise la nature intrinsèque du champ électromagnétique, constitué de ces quanta qui seront plus tard baptisés « photons » Dès 1907, Einstein encore montre comment la quantification des vibrations des réseaux cristallins permet d'interpréter les résultats expérimentaux jusque-là incompris sur la chaleur spécifique des solides à basse température. La physique statistique quantique naissait ainsi »⁴.

L'année 1905 est donc une année charnière pour la communauté scientifique en générale et la communauté physique en particulier. Comme le souligne si bien Thomas Minkoulou,

« L'année 1905 correspond d'abord à l'année de la soutenance par Albert Einstein de sa thèse de doctorat à l'âge de 26 ans qui introduit la relativité en science physique. En effet, Einstein va étudier les lois de la mécanique de Newton dont il reconnaît d'ailleurs la validité scientifique et la pertinence pratique. Mais, il y introduit quelques réserves en démontrant que si les lois newtoniennes de la mécanique, notamment celle de la gravité et celle de la chute des corps sont toutes vraies et opérationnelles, elles le sont dans des circonstances exclusivement bien définies et déterminées. Si, par contre, on change de référentiel, par exemple, si on se situe dans un contexte où la vitesse est supersonique, tous les corps ne peuvent plus tomber de la même façon. Ce qui signifie, en plus simple que, les mêmes causes, même réunies dans les mêmes conditions, peuvent ne plus produire les mêmes effets »⁵.

⁴ *Idem.*

⁵ T. Minkoulou, « La bioéthique pour quoi faire ? Esquisse de compréhension et d'analyse des exigences et de la nécessité de la bioéthique », in *Pluralisme des rationalités*, pp. 159-160.

Mais l'ironie, comme nous allons le voir au premier chapitre de notre travail, est qu'Einstein, après ce travail titanesque, restera déterministe. Il va préférer croire au Dieu-non-joueur-de-dés plutôt que de croire au véritable Dieu de la science, le Dieu-joueur-de-dés.

La physique quantique que nous allons interroger et analyser dans notre travail suscite un grand intérêt. Car « *son champ d'application n'a cessé de s'étendre, sans qu'elle ne rencontre jusqu'à présent ses limites de validité. Elle a montré sa fécondité dans des domaines allant de la physique subnucléaire à l'astrophysique stellaire, et connaît d'importantes applications techniques* »⁶. Marcel Mauss avait forgé le *fait social total* c'est-à-dire un fait qui a une portée totale, un fait social qui meut toute la société. Ne pourrait-on pas aussi affirmer que la physique quantique est le fait scientifique total ? Car nous le verrons, la physique quantique a révolutionné et bouleversé la quasi-totalité des sciences, et la plupart des sciences se comprennent aujourd'hui à partir d'elle. C'est une théorie conquérante qui entre partout et bouleverse tout (lasers, cryptographie, biologie...). Le règne du Dieu-joueur-de-dés qui commença avec la physique quantique s'annonce et se présente comme un règne très innovant et fructueux.

Sous le règne du Dieu-joueur-de-dés, nous allons voir que le réel est dynamique et non-inerte : il est doué de mouvement. Ce mouvement en est son élément fondamental. Les attributs qu'Aristote avait donnés à la matière perdent tout simplement de leur consistance et leur signification au niveau quantique. La stabilité et la continuité ne peuvent plus être soutenues, la matière devenant au niveau quantique une idéalité. Car on le verra, la physique quantique nous permet de découvrir que le réel s'idéalise, il n'est qu'un ensemble de propriétés. Ainsi, au niveau quantique, le réel perd tous les attributs aristotéliens, newtoniens et laplaciens. Et ceci à cause de la dualité onde-corpuscule, source du paradigme de la relativité. Ainsi, du fait de cette relativité, il devient non pertinent que la science soit aliénée par la métaphysique, notamment la métaphysique classique.

Parlant de la science, il sera démontré dans notre travail qu'elle a d'autres facteurs de progrès que sont le hasard et le tâtonnement. En effet, le hasard et le tâtonnement viennent crédibiliser la falsifiabilité théorisée par Karl Popper. Ils viennent ensuite mettre en lumière, et de façon plus significative, la non-pertinence du dogmatisme scientiste. Ce dogmatisme scientiste peut se décliner sous deux aspects : le monisme et le conservationnisme. En déconstruisant le monisme, le hasard et le tâtonnement démontrent que le principe classique de

⁶ Dominique Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 917.

l'uniformité des lois de la nature est insoutenable. Le réel est constitué d'une infinité de niveaux élémentaires, et chaque niveau élémentaire est régi par ses propres lois. Le hasard et le tâtonnement déconstruisent l'attitude conservationniste en démontrant que la science n'est pas la religion : il n'y a pas de théories et de paradigmes éternels. Tout ceci vient mettre en lumière le véritable fondement des progrès scientifiques. C'est donc le hasard et le tâtonnement qui font avancer la science. Car ceux-ci nous font avoir une objectivité faible et non une objectivité forte (comme dans la science classique), du fait du dynamisme et de la non-inertie du réel, eux-mêmes produit de la dualité onde-corpuscule.

Dans l'histoire de la pensée, la naissance de la philosophie c'est-à-dire le passage de la pensée mythique à la pensée rationnelle et la naissance de la physique quantique sont considérées comme des révolutions de premier ordre. Car elles symbolisent des effondrements et des basculements radicaux. Il y a effondrement d'un système lorsque ses piliers, ses bases conceptuelles sont brisées, de sorte qu'il y a *incommensurabilité* entre les bases anciennes et les nouvelles bases. En ce qui concerne particulièrement la physique quantique, sa naissance vient remettre en question et déconstruire tout l'édifice scientifique en vigueur depuis Aristote. Les innovations qu'elle implique scandalisaient tous les domaines du connaissable. Nous sommes passés du règne du Dieu-non-joueur-de-dés à celui du Dieu-joueur-de-dés. L'indéterminisme va ébranler tout le confort intellectuel dans lequel le monde reposait et voguait depuis des siècles. Les attributs de la matière comme la stabilité et l'immutabilité lui seront retirés. La perception du réel va radicalement changer. La réalité de la matière ne se trouve pas dans sa dimension macroscopique mais dans sa dimension microscopique. Bernard d'Espagnat parle à juste titre de *diversion macroscopique*. Il devient illusoire d'expliquer le réel à partir de l'équation de Newton mais avec celle de Schrödinger. Car le réel repose sur la dualité onde-corpuscule. Ainsi Schrödinger démontre que toute mesure en physique n'est qu'une approximation. Car l'onde n'est pas une réalité physique en soi ; la matière elle-même n'étant pas une réalité permanente.

Le problème de la mesure en physique quantique va nous amener à nous poser la question de savoir si le hasard et le tâtonnement portent des atteintes sérieuses à la rationalité scientifique. En effet, le hasard et le tâtonnement vont pousser les scientifiques et les philosophes à reprendre et à reconsidérer l'imaginaire. L'imaginaire n'est plus considéré comme un obstacle épistémologique mais bien comme un ferment nécessaire et indispensable pour la recherche scientifique. Il apparaît donc évident qu'il existe une relation voire une complémentarité entre hasard, tâtonnement et rationalité. Le principe de complémentarité de

Niels Bohr, le chat de Schrödinger, l'expérience des fentes de Thomas Young et la main invisible de Heinz Pagels nous le démontrent. La dualité onde-corpuscule, source du paradigme de la relativité vient renforcer la thèse de la non-constance de la rationalité scientifique. La science étant par nature une espèce mutante, sa rationalité est par conséquent non constante.

Avec la naissance de la physique quantique, la métaphysique et la logique ont subi de sérieux coups. Il faut d'abord noter qu'avec la naissance de la science fondée sur le hasard et l'incertitude, le tâtonnement est devenu une méthode scientifique. Cette science du hasard et de l'incertitude a entraîné la déconstruction des principes logiques qu'on pensait établis *ad vitam* : le principe d'identité, de non-contradiction et du tiers exclu. Forgés depuis l'antiquité, ces principes logiques n'avaient jamais subi de modifications considérables. La complémentarité entre concepts physiques et le hasard a donc été théorisée ouvrant ainsi la voie à de nouvelles formes de logiques. Du côté de la métaphysique, la matière étant désormais discontinue, elle perd tous les attributs de stabilité et de substance qu'on lui connaissait sous le règne du Dieu-non-joueur-de-dés. On passe de l'ontologie de la stabilité à l'ontologie du mouvement. Par conséquent, il se posa un épineux problème celui de l'interprétation, de la conceptualisation. Car il sera élucidé dans notre travail que les concepts classiques perdent de leur sens et leur signification au niveau quantique. Face à ce problème, la communauté scientifique s'est vue divisée en deux camps : les uns voulant interpréter la physique quantique avec les concepts classiques, les autres tournés vers la rupture et vers la création de nouveaux outils intellectuels. Ainsi,

« pour comprendre la transformation radicale qu'apporte la quantique à notre conception des objets physiques et de leurs propriétés, il suffit de revenir à la relation Planck-Einstein qui introduit, au début du siècle, la quantification du rayonnement, en déterminant l'énergie E d'un « quantum » de rayonnement de fréquence n selon l'équation $E = hn$, où h , est la « constante de Planck » »⁷.

Il devient urgent de forger de nouveaux concepts. Mais, nous le verrons dans notre travail, la formulation de la physique quantique va s'avérer complexe et problématique. Pour y parvenir outre la relation Planck-Einstein, il faudra ajouter la complémentarité des concepts de Bohr, la mécanique ondulatoire de Schrödinger, la mécanique des matrices de Heisenberg et l'interprétation Probabiliste de Born pour ne citer que ces les travaux et apports les plus déterminants.

⁷ *Ibid.*, p. 918.

En voulant appliquer les concepts classiques au monde in vivo, les scientifiques et les philosophes commettaient une erreur fondamentale. Le hasard et le tâtonnement leur exigeaient une conversion spirituelle, de nouveaux concepts, de nouveaux instruments intellectuels. C'est fort de cela que nous allons démontrer dans notre travail que le hasard et le tâtonnement catalysent la recherche. Ils apparaissent comme des sources de renouvellement constant des théories scientifiques. A cause de la dualité onde-corpuscule (qui est source du hasard) l'homme ne peut que tâtonner lorsqu'il forge une théorie scientifique ou un instrument. L'objectivité d'une telle théorie ou d'un tel instrument est donc faible : en situation d'objectivité faible, le renouvellement des théories et des instruments devient très urgent. Car la reproductibilité, la prédiction, la précision et la prévision sont faibles. A cause de cette objectivité faible, le travail du scientifique se trouve toujours être imparfait et partiel. La physique quantique nous permet de comprendre qu'aucune généralité ne peut être prêtée à une théorie scientifique. Car le milieu microscopique contient une infinité de niveaux élémentaires. En plus de cela, le réel échappe toujours au scientifique du fait de l'imprévisibilité due au hasard ; donc le scientifique ne peut que tâtonner. Par conséquent, son travail sera imparfait et partiel. Tout ceci nous amène à comprendre que le hasard et le tâtonnement apparaissent comme des hypothèses de la critique en science et en philosophie. Car en science comme en philosophie, c'est la même faculté qui est en jeu : la raison. Dans le monde microscopique, la raison ne peut se déployer que par tâtonnement faute de certitude. La notion de science pure pensée par Friedrich Gauss est donc scientifiquement et philosophiquement insoutenable. Le hasard et le tâtonnement nous dévoilent la nature véritable de la science. La science est par nature une approximation. Le hasard et le tâtonnement nous dévoilent le caractère crucial de la critique, car rien n'est certain ou acquis définitivement au niveau in vivo : tout est approximatif.

Tout au long de notre périple intellectuel, nous allons voir que la physique quantique vient confirmer que la science n'est qu'une valeur approchée de la vérité. En science, le concept vérité doit être saisi à partir du concept d'approximation. Car les instruments qui nous apportent les informations sont toujours limités et incomplets : ils ont toujours besoin d'être affinés et perfectionnés. L'incomplétude en physique instrumentale prouve que les instruments manquent tout le temps de justesse, de fidélité et de précision. A cause de cette incomplétude, il devient urgent que les paradigmes soient ouverts à la critique pour que la science progresse ou avance. La science est par nature une connaissance approchée ; et qui dit connaissance approchée sous-entend un perfectionnement permanent ; on pourrait dire que la vérité, en science est une espèce fuyante. Ainsi, tout paradigme non critiquable est un dogme ; il en va de même pour la méthode.

Elle n'est pas absolue comme on le pensait sous le règne du Dieu-non-joueur-de-dés. Elle devient aussi une réalité perfectible car reposant sur l'objectivité faible. Nous démontrerons alors que la méthode, produit de la raison, doit être renouveler, c'est la condition de sa viabilité et de sa fiabilité.

La science, le hasard et le tâtonnement ont-ils une incidence sur la philosophie ? Notons qu'à l'ère de la mondialisation, aucune discipline ne peut évoluer de façon autonome sans tenir compte des autres discours sur l'homme et sur le réel. Nous allons le voir, pour demeurer d'actualité, la philosophie doit tenir compte du discours scientifique. La physique quantique que nous analysons dans le présent travail est un exemple patent. Elle a poussé la philosophie à tenir compte du hasard et du tâtonnement tant dans ses principes que dans sa méthode. La physique quantique a provoqué les crises de la raison. Il sera démontré dans notre travail que la raison n'est plus immuable comme le pensait l'ancienne tradition philosophique. De même, nous allons démontrer que le hasard et le tâtonnement ont mis le rationalisme à rude épreuve, les lois logiques de la pensée rationaliste ont été ébranlées. La métaphysique jadis fondée sur la stabilité doit désormais intégrer le mouvement. Car la matière est non inerte, et le mouvement est son élément fondamental. Pour rendre compte de cette matière et du monde en général, les bouleversements causés par la physique quantique nous montrent qu'une conjugaison de domaines du savoir est indispensable. Cependant, la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité s'avèrent limitées. Nous allons donc prouver que c'est la transdisciplinarité qui est le pont nécessaire et indispensable entre les sciences. Ceci parce qu'elle est plus ouverte, plus flexible et plus communicative et qu'elle intègre de nouvelles logiques.

Le problème qui peut logiquement découler de notre thème est celui du rôle du hasard dans le processus de construction ou de progression de la science au XXI^{ème} siècle. Pour résoudre ce problème, les questions suivantes nous serviront de problématique : qu'est-ce qui rend crédible notre interrogation sur la fonction épistémologique du hasard et du tâtonnement en science ? Si le hasard et le tâtonnement sont désormais admis en science, que deviennent alors le déterminisme, l'objectivité, l'uniformité des lois de la nature et la localité ? Si ces bases conceptuelles sont atteintes, ou alors déconstruites quelle incidence cela aura-t-il sur la science et la philosophie ? Mais avant d'entrer dans le vif du sujet, une importante remarque méthodologique s'impose d'emblée, celle de préciser que dans notre travail, c'est la physique quantique que nous allons analyser et interroger. Ceci se justifie par deux raisons fondamentales : premièrement le hasard quantique a eu de l'incidence dans les autres sciences ; donc le hasard qu'on rencontre dans les autres sciences peut se comprendre à partir du hasard

quantique. Deuxièmement, le hasard quantique est le hasard élevé à sa plus haute expression, il n'y a pas de hasard comparable au hasard quantique, c'est un hasard imbattable.

Pour apporter des réponses à ces interrogations qui ont suscités notre curiosité durant notre parcours comme étudiant en philosophie et particulièrement dans l'option épistémologie et logique, nous allons adopter une méthode historico-analytique. Notre travail sera organisé en trois parties :

Dans notre première partie intitulée **principe d'incertitude : fondement du hasard et du tâtonnement en science**, il sera fondamentalement question pour nous de démontrer que la science n'est pas déterministe, elle est incertaine, c'est-à-dire que le dieu de la science joue aux dés. Pour y arriver, nous critiquerons d'abord les positions d'Hippocrate et d'Einstein sur l'exactitude en science. Ensuite, nous allons démontrer à travers la découverte des quanta par Max Planck et l'équation de Schrödinger que le réel est dynamique et non inerte, il est doué de mouvement. Enfin, nous allons prouver que le hasard et le tâtonnement se posent, en science moderne, comme de véritables facteurs de progrès de la science.

Dans la deuxième partie intitulée **interrogation sur la crédibilité d'une science ouverte au hasard et au tâtonnement**, opportunité nous sera donnée de démontrer trois choses fondamentales : premièrement que la révolution quantique a bouleversé notre perception ontologique du réel. Deuxièmement, il sera question pour nous de prouver que le hasard et le tâtonnement portent des atteintes sérieuses à la rationalité scientifique par une reprise en main très sérieuse de l'imaginaire que l'on qualifiait d'irrationnel et de non scientifique. Cette reprise en main de l'imaginaire associée au hasard et au tâtonnement nous fera conclure que la rationalité scientifique est non constante. Troisièmement, nous allons montrer comment le hasard a provoqué la remise en question de la métaphysique et déconstruit les principes logiques d'identité, de non-contradiction et du tiers exclu.

La troisième partie intitulée **la fécondité théorique du hasard et du tâtonnement en science** est consacrée au rôle, à l'importance et à l'apport du hasard et du tâtonnement en science. Nous allons en premier lieu ressortir que le hasard et le tâtonnement catalysent la recherche scientifique car ils se présentent comme des moteurs du renouvellement des théories scientifiques. En second lieu, nous allons réaffirmer que la science est une valeur approchée de la vérité. Donc pas de place au dogmatisme scientiste. Le hasard et le tâtonnement viennent alors montrer l'urgence et l'importance de la critique et prouver que les instruments, les théories

et la méthode doivent toujours être ajustés et affinés. En troisième lieu, nous allons mettre en exergue l'incidence de la science, du hasard et du tâtonnement sur la philosophie.

**PREMIERE PARTIE : LE PRINCIPE D'INCERTITUDE : FONDEMENT DU
HASARD ET TATONNEMENT EN SCIENCE**

Quand on parle de hasard et de tâtonnement beaucoup y voit des réalités qui n'ont rien à voir avec la science. Il s'agit pour certains, des obstacles à l'évolution de la pensée scientifique, pour d'autres des réalités de certains types de jeux (loterie, jeux de dés, jeux de cartes) pas plus. Dans certaines religions comme le Christianisme et l'Islam, le hasard et le tâtonnement ne devraient pas être évoqués, c'est un affront à l'égard de Dieu, ce sont des réalités du monde satanique. Car selon ces religions, Dieu a créé le monde et l'a merveilleusement ordonné. Parler de hasard et de tâtonnement est donc un blasphème comme l'illustre Heinz Pagels :

« Un professeur de mathématiques de l'Iran post-révolutionnaire avait commencé son cours sur les probabilités en montrant un dé qui allait lui servir à étayer sa démonstration. Avant même qu'il pût dire quoi que ce soit, un étudiant intégriste s'écria : « ôtez cet objet de Satan ! » Le professeur rangea le dé, perdit son travail – et peut-être la vie. La notion de probabilité est fondamentalement opposée à la religion islamique, qui considère que Dieu sait et connaît toutes choses – le hasard n'a pas sa place parmi les intégristes »⁸.

Dans cette partie de notre travail, nous nous donnerons pour tâche principale de réhabiliter le hasard et le tâtonnement en montrant qu'ils sont des éléments indispensables pour la science. Pour y parvenir, démontrerons que la science n'est pas exacte à cause du hasard et du tâtonnement, que ce hasard et ce tâtonnement proviennent du dynamisme et de la non-inertie du réel, et que le hasard et le tâtonnement sont des facteurs de progrès de la science.

⁸ Heinz Pagels, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, Trad. de Jacques Corday, Paris, InterEditions, 1985, p. 110.

CHAPITRE I : L'ILLUSION D'UNE SCIENCE EXACTE : LE DIEU DE LA SCIENCE JOUE AUX DÉS

Nier l'exactitude en science et soutenir que « *Dieu joue aux dés* »⁹, c'est réfuter la position d'Albert Einstein et adopter celle de Niels Bohr. La science est une œuvre humaine. Or aucune œuvre humaine n'est ni parfaite, ni éternelle. La science est donc naturellement en marche, toujours perfectible. Qui affirme que la science est en marche, devrait aussi naturellement abandonner tout dogmatisme et tout fondamentalisme. Selon Mouchili Njimom,

*« Il existe une dynamique interne à la science. Cette dynamique fait qu'au fur et à mesure qu'elle avance, elle augmente sa crédibilité dans la démonstration et la maîtrise du réel ou du monde (...) A voir comment fonctionne la science, il ne peut pas y avoir de connaissance dont l'éternité et l'immutabilité pourraient caractériser la structure et le contenu »*¹⁰.

Malheureusement, quelques scientifiques de renom avaient pensé que certaines théories, certains paradigmes domineraient le monde scientifique *ad vitam, aeternam*. Cette divinisation de certains paradigmes est source de handicap ; un obstacle épistémologique majeur. Heisenberg était déjà contre l'appellation *loi de la nature* qu'il qualifie de glorification en ces termes :

*« Déjà l'appellation loi de la nature me paraît être une glorification ou une sanctification discutable d'une formulation qui, au fond, ne peut être qu'une prescription pratique concernant notre relation avec la nature dans le domaine considéré. Ma conclusion, c'est donc qu'il faut abandonner toute prétention à l'absolu »*¹¹.

Abandonner toute prétention à l'absolu c'est admettre que la science est en ébullition, en mutation : elle passe constamment d'un principe à un autre, d'un paradigme à un autre, d'un système à un autre. C'est ainsi que nous sommes passé de la physique Aristotélicienne à la physique Newtonienne et, de la physique Newtonienne à la physique quantique. La physique Aristotélicienne et Newtonienne étaient fondées sur le principe métaphysique du déterminisme et la physique quantique, de son côté est fondée sur le principe épistémologique de l'indéterminisme ou de l'incertitude. Les scientifiques classiques, soutenus par les membres du Cercle de Vienne, avaient posé que la science est un discours certain et précis. Mais avec l'avènement de la physique quantique, on peut inférer que cette formule canonique est devenue caduc, insoutenable. L'objectif de ce chapitre est de démontrer, à la suite de certains grands

⁹ Manjit Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, Editions Jean-Claude Lattès, 2011, p. 395.

¹⁰ A. Manga Bihina et I. S. Mouchili Njimom (Dir.), *Pluralisme des rationalités*, Paris, Harmattan, 2019, p. 18.

¹¹ Werner Heisenberg, *La partie et le tout*, Trad. Paul Kessler, Paris, Editions Albin Michel, 1972, p. 135.

philosophes et scientifiques que, parler d'une science exacte est un discours caduc, qui relève tout simplement, hélas d'une métaphysique elle-même dépassée. La science est incertaine, elle est tâtonnante et hasardeuse.

I- LA CRITIQUE DU REVE HIPPOCRATIQUE

Les savants de l'antiquité se comportaient parfois comme des hommes d'église par leur dogmatisme. Leurs positions étaient parfois fermes et inflexibles. C'était le cas d'Hippocrate, fils de Héracléides de Cos, qui vécut entre 460-356 avant Jésus-Christ à Cos. Hippocrate, célèbre philosophe et médecin grec était un génie. Il est considéré comme le père de la médecine par ses travaux et l'influence qu'il avait eu dans la médecine à son époque. D'ailleurs, les médecins, à leur sortie de l'école pour entrer dans le monde professionnel, prêtent un serment dénommé *serment d'Hippocrate*. Dans ses travaux, il avait pensé que tout était prévu et ordonné ; toute chose a une cause certaine. Il n'y a pas de hasard en science. C'est ce qui l'amena à déclarer que :

« Le hasard, quand on vient à bien l'examiner, se trouve toujours n'être rien. Tout ce qui se fait a une cause certaine, et cette cause se trouve encore en avoir une autre qui l'a produite. On ne voit point que le hasard puisse exister dans la nature ; c'est seulement un nom donné, par l'ignorance, à ce dont elle n'a pas connu les causes »¹².

Par ce passage, Hippocrate canonisait le déterminisme et partant l'exactitude en science. Toute la science antique et classique reposait sur le déterminisme, c'était l'une des bases conceptuelles de premier plan. Dans le *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, André Lalande définit le déterminisme comme le « *caractère d'un ordre de faits dans lequel chaque élément dépend de certains autres d'une façon telle qu'il peut être prévu, produit, ou empêché à coup sûr suivant que l'on connaît, que l'on produit ou que l'on empêche ceux-ci* »¹³. Fondamentalement, « *selon la conception déterministe, l'univers est une sorte de grande horloge mise en mouvement une fois pour toutes, au début des temps par une main divine* »¹⁴. Dans cette grande horloge, tout est ordonné et tout a une cause et un effet. Rien n'est mis par hasard. Le déterminisme va marquer la science pendant plus de vingt siècles et stipule que « *les lois de la nature spécifient le passé et l'avenir jusque dans le moindre détail* »¹⁵. Mais il

¹² Hippocrate, *Du génie des peuples anciens, ou tableau historique et littéraire*, Tome II, Paris, Chez MARADAN, 1808, p. 179.

¹³ André Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 222.

¹⁴ Heinz Pagels, *L'univers quantique Des quarts aux étoiles*, p. 16.

¹⁵ *Ibid.*, p. 85.

convient de préciser que ce déterminisme hippocratique est qualifié par les épistémologues de déterminisme métaphysique. Ce déterminisme va atteindre son apogée avec les travaux de Pierre-Simon de Laplace. Il baptisera son déterminisme le *déterminisme universel*. Il le qualifiera de vérité définitivement établie sur le plan scientifique. En effet, « *la mécanique céleste de Pierre-Simon de Laplace porte à sa perfection le système du monde de Newton. Elle unit à la solidité de la science newtonienne l'ampleur de la science cartésienne* »¹⁶. Selon Laplace, il y aurait une intelligence supérieure à celle des hommes qui aurait tout organisé :

*«Tous les événements, ceux même qui par leur petitesse semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du soleil. Dans l'ignorance des liens qui les unissent au système entier de l'univers, on les a fait dépendre aux causes finales ou au hasard (...) Les événements actuels ont avec les précédents une liaison fondée sur le principe évident, qu'une chose ne peut pas commencer d'être sans une cause qui la produise (...) Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre »*¹⁷.

Le déterminisme a pour pierre angulaire le principe de causalité. C'était la condition d'admissibilité d'une théorie physique ou scientifique. On appelle principe de causalité, le principe en vertu duquel tout effet a une cause ou que toute cause a un effet. « *Le principe de causalité, selon lequel tout événement a une cause, fonde l'idée du déterminisme naturel qui est au cœur de la science moderne* »¹⁸. Le principe de causalité existait depuis l'antiquité. Mais c'est d'Alembert et Euler qui vont le formuler clairement.

A partir de la Renaissance, Francis Bacon posa les bases d'une science qui va commencer à remettre en cause le déterminisme. En effet, Francis Bacon persuadé que le progrès des connaissances doit entraîner à terme une amélioration de la condition humaine, se lança dans un vaste travail de refonte de tout l'édifice scientifique. Selon lui,

*« un progrès effectif du savoir implique tout d'abord une réforme de l'esprit humain, sur la base de principes dont il pose les fondements dans le Novum Organum. Pour véritablement sortir de soi et devenir attentif aux choses mêmes, l'esprit doit surmonter un certain nombre de préjugés. La méthode inductive, qui ne peut être adoptée qu'après liquidation des idoles (ou obstacles inhérents à l'esprit), est conçue de façon originale : ni spontanée, ni strictement logique, l'expérimentation instruite est surtout attentive à tout ce qui peut invalider les hypothèses de travail. Seules des expériences cruciales permettent de vérifier des axiomes toujours discutables »*¹⁹.

¹⁶ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, Paris, Librairie Armand Colin, 1969, p. 143.

¹⁷ *Ibid.*, pp. 144-145.

¹⁸ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z* (collectif), Paris, Hatier, 2011, p. 71.

¹⁹ *Ibid.*, p. 50.

Francis Bacon systématise ainsi l'empirisme fondé sur l'induction. A partir du XVIII^{ème} siècle, les philosophes empiristes, héritiers de Francis Bacon, vont commencer à adresser de vives critiques au déterminisme. David Hume remettra en cause le principe de causalité et toute la philosophie qui en découle. Il entrevoyait déjà la possibilité du hasard et de l'incertitude en science au travers de ces propos : « *Le cas est le même avec la probabilité des causes qu'avec celle du hasard. Il y a des causes qui sont entièrement uniformes et constantes dans la production d'un effet particulier (...) Mais il y a d'autres causes qui se sont montrées plus irrégulières et incertaines* »²⁰. Mais les critiques les plus vives du déterminisme hippocratique sont advenues avec la découverte de la physique quantique au XX^{ème} siècle.

*« En 1900, Planck montre qu'on doit admettre que les échanges d'énergie se font, au niveau microscopique, de façon discontinue, par quanta, l'apparente continuité à notre échelle résultant d'un effet de masse. Il en résulte qu'on ne peut plus espérer atténuer indéfiniment la perturbation qu'introduit, dans toute observation, l'action de l'appareil sur le phénomène observé. A partir d'un certain degré de petitesse, il devient donc impossible de dissocier, dans le résultat d'une expérience, ce qui revient au phénomène et ce qui revient à l'appareillage expérimental ; de sorte que la notion d'un phénomène objectif, c'est-à-dire totalement indépendant des conditions dans lesquelles on l'observe, se perd. Et comme finalement nos organes sensoriels eux-mêmes sont intéressés dans l'acte d'observation, on en conclura que la microphysique est affectée d'une subjectivité essentielle »*²¹.

Mais comme le souligne Etienne Klein, la naissance de la physique quantique s'est produite à partir d'un fait banal, marginal et cette rencontre de la physique avec le monde quantique aurait pu se produire n'importe quand ou encore n'importe où. Il écrit en effet :

*« La première rencontre de la physique avec le monde quantique aurait pu se produire n'importe où : en approfondissant la structure de l'atome ou le spectre de la lumière que les atomes émettent ou absorbent, ou encore les propriétés des corps solides. Il s'est trouvé que, historiquement, elle est advenue à propos d'un problème apparemment beaucoup moins fondamental : le spectre du rayonnement issu du four, ou plus exactement d'un corps noir »*²².

Mais qu'est-ce qui s'est réellement passé ?

« A la fin du XIX^{ème} siècle, les physiciens en étaient venus à s'intéresser de très près au rayonnement émis par les corps qu'on chauffe, qui passent au rougeâtre d'abord, puis au rouge vif, ensuite au jaune, puis au blanc, au fur et à mesure que leur température augmente, et ils désiraient en expliquer les caractéristiques à partir des propriétés de la matière avec laquelle ce rayonnement interagit. Or – expliquent rapidement les manuels- les calculs classiques ne donnaient pas un résultat conforme aux observations. Ce qui est pire, ils faisaient apparaître une quantité infinie, donc inacceptable : le spectre du rayonnement d'un corps noir y apparaissait tel que la quantité d'énergie émise à une fréquence donnée devait augmenter indéfiniment avec la fréquence, de sorte que l'énergie totale rayonnée devait être elle-même infinie. Cette contradiction, la fameuse catastrophe ultraviolette, fut, assène la ritournelle,

²⁰ D. Hume, *Enquête sur l'entendement humain*, Traduction française de Philippe Folliot, août 2002, version numérique : folliot.philippe@club-internet.fr, <http://www.philotra.com>, téléchargée le 13 mai 2018, p. 52.

²¹ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, Paris, Librairie Armand Colin, 1969, p. 285.

²² E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, Paris, Flammarion, 2016, p. 159.

jugée de plus en plus insupportable à proportion que les mesures et les calculs se faisaient plus précis »²³.

Pour résoudre cet épineux problème, qui allait contre les principes qui gouvernaient la science à cette époque, Planck, qui étudiait la thermodynamique, l'électromagnétisme et la physique statique, arrivant comme un prophète, proposa (comme le souligne Etienne Klein), dans « un acte de désespoir » que :

« Contrairement à ce que supposait la physique classique, les échanges d'énergie entre le rayonnement et la matière ne peuvent se faire que par paquets discontinus, les quanta. Cette hypothèse de quantification, vis-à-vis de laquelle on s'empresse d'ajouter que Planck lui-même éprouvait la plus extrême réticence, était certes contraire aux principes de la théorie électromagnétique de la lumière, mais une fois mise dans les calculs elle avait l'immense vertu de produire un résultat qui s'accordait parfaitement avec les mesures expérimentales »²⁴.

Pour peaufiner son travail, Planck avait dû considérer plusieurs critiques et les travaux d'autres physiciens relatifs à cette problématique. Il s'agit entre autres de l'entropie proposée par Boltzmann. Pour Boltzmann, *« l'entropie d'un système était un concept qu'on pouvait comprendre et interpréter en termes statistiques ou probabilistes. Autrement dit, l'entropie résultait simplement des mouvements atomiques ou moléculaires très nombreux qui se produisent au sein du système »²⁵*. Ensuite Planck s'est intéressé aux travaux de Wilhelm Ostwald un de ses alliés *« qui voulaient débarrasser la physique de la notion d'atome afin de mieux la recentrer sur le seul concept d'énergie »²⁶*.

La physique quantique nous plonge dans un univers incontrôlé, totalement aléatoire. « Il n'y a pas de hasard comparable au hasard quantique. Comme nous, Dieu joue aux dés. Et comme nous, il ne connaît que les probabilités de voir sortir telle ou telle combinaison »²⁷. Difficile dans cet univers de soutenir que tout a une cause certaine et que tout peut être connu. Avec la physique quantique, nous comprenons que des expériences, répétées dans les mêmes conditions, ne produisent pas le même effet. Avec elle, c'est aussi la vision du monde qui change. Désormais, l'univers n'est plus continu mais discontinu. *« Fondamentalement, l'hypothèse de Planck revient à substituer à cette vision continue du monde une vision discontinue, discrète »²⁸*. Mais cette discrétion est très aléatoire. Elle se fait par sauts très minimes et n'est pas visible à l'œil nu. L'aléatoire, L'imprévisible, l'indéterminisme, l'incertitude et la probabilité sont les concepts clés qui régissent la matière et l'univers. A

²³ Ibid., pp. 160-161.

²⁴ Ibid., p. 162.

²⁵ Ibid., pp. 164-165.

²⁶ Ibid., p. 65.

²⁷ H. Pagels, *L'univers quantique des quarks aux étoiles*, p. 86.

²⁸ Ibid., p. 24.

examiner de près le déterminisme, on pourrait penser que ses défenseurs n'avaient pas bien observé le monde. La conception déterministe de l'univers pourrait donc légitimement être qualifiée d'*illusion d'optique*. Or, Heinz Pagels dit que :

« La théorie quantique enseigne que nous devons observer le monde pour le connaître, et que cette observation introduit dans le monde des processus aléatoires totalement incontrôlés. De plus, le principe de complémentarité de Bohr implique que la connaissance simultanée et globale de l'univers, exigée par le déterminisme, est impossible, parce que, la connaissance d'une chose exclut nécessairement la connaissance de certaines autres. La théorie quantique nous oblige à renoncer à ce rêve déterministe, selon lequel toute chose pourrait être connue »²⁹.

Le déterminisme devient donc insoutenable, il devient caduc et dépassé. Qualifiée de véritable révolution en physique, la découverte de la physique quantique va influencer la quasi-totalité des domaines du connaissable, contester, bousculer et transformer nos habitudes. Elle nous commande de penser avec le hasard et le tâtonnement. Robert Blanché écrira :

« La révolution quantique va d'ailleurs plus loin. Elle ne s'en prend pas seulement aux deux grands principes régulateurs de l'expérience, celui du déterminisme causal et celui de la conservation de la substance, elle s'étend, de part et d'autre, sur tout le domaine de l'a priori : du côté des formes intuitives elle conteste, on l'a vu, les continuités spatio-temporelles ; du côté des lois logiques, on le verra, l'introduction de la notion de complémentarité paraît s'accorder mal aux exigences formelles de la pensée »³⁰.

La critique du rêve hippocratique par la physique quantique consiste à la déconstruction du déterminisme comme principe absolu et infaillible en science, et à considérer l'incertitude comme inhérent à la structure matière et incontournable en science.

II- DE L'ORIGINE DE L'INCERTITUDE EN SCIENCE

Comme nous venons de le voir avec la découverte de la physique quantique, le hasard et le tâtonnement sont monnaie courante en science. Adieu le déterminisme et bienvenue à l'indéterminisme, je veux dire à l'incertitude. L'incertitude est consubstantielle à la physique quantique, c'est-à-dire la microphysique et aux deux grandeurs conjuguées qui la caractérisent. En effet, vers à la fin du XIXème siècle et au début du XXème siècle, la physique newtonienne et toute la physique classique commençaient à éprouver de réelles difficultés d'application malgré toutes les tentatives de réajustement :

²⁹ *Ibid.*, pp. 102-103.

³⁰ Robert Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, Paris, PUF, 1967, p. 53.

« les portes étaient maintenant largement ouvertes en direction du nouveau domaine que constituait la mécanique quantique de l'enveloppe atomique ; et à tous ceux qui voulaient venir cueillir avec nous les fruits du jardin ainsi découvert, qui voulaient travailler dans ce nouveau domaine, d'innombrables problèmes s'offraient, problèmes qui avaient été insolubles autrefois et qui pouvaient maintenant être traités et résolus grâce aux méthodes nouvelles (...) A cela s'ajoutait le sentiment que, du point de vue philosophique également, cette physique était à maintes égards supérieure à l'ancienne, qu'elle était – en un sens qui restait encore à déterminer de plus près – plus vaste et plus ouverte que l'ancienne »³¹.

L'étude des atomes commence dans l'antiquité avec Leucippe et Démocrite, considérés comme des matérialistes. Mais ils seront combattus et enterrés. Car les physiciens de cette époque vont plus considérer et adopter la vision aristotélécienne. Mais plus tard, l'atomisme sera ressuscité. Cet atomisme devient de nos jours,

« le paradigme principal en physique moderne ainsi qu'en philosophie de la nature (...) L'atomisme a ses origines dans la philosophie grecque, chez les penseurs présocratiques Leucippe (env. 440-370 avant J-C) et Démocrite (env. 460-370). Démocrite soutient la vision selon laquelle il y a des substances en nombre infini, insécables et impassibles, et, de plus, sans qualités et immuables, qui se meuvent dans le vide où elles sont disséminées. Mais lorsqu'elles se rapprochent les unes des autres, où qu'elles entrent en collision, où qu'elles s'entrelacent, il résulte de leur agrégation soit de l'eau, soit du feu, soit une plante, soit un être humain »³².

Démocrite trouvait que la matière est faite d'atomes et de vide. D'où son rejet de la célèbre formule de Parménide : *« l'être est, le non-être n'est pas »*. Mais c'est le physicien allemand Max Planck qui découvre, au sein de la matière, l'existence des quanta. Planck, Einstein, Bohr formuleront des théories très pertinentes sur l'univers quantique ; et voyaient déjà à ce niveau, le hasard, l'aléatoire et l'indéterminisme. Dans le *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, André Lalande définit l'indéterminisme comme une

« Doctrine qui écarte le déterminisme, même sans admettre des actes temporels de libre arbitre ou des commencements absolus. Par extension, synonyme d'indétermination. Le caractère de ce qui n'est pas déterminé. Problème dont les données sont insuffisantes et qui comporte plusieurs solutions. Etat d'un esprit qui hésite entre plusieurs solutions. »³³.

Mais c'est le physicien allemand Werner Heisenberg (comme le rapporte Olivier Garnier) qui formulera le principe d'indéterminisme et lui donnera toutes ses lettres de noblesse. En 1925, Heisenberg découvre que : *« à l'échelle quantique, toute mesure perturbe fortement le système. Ainsi, la position mesurée avant la mesure de la quantité de mouvement est différente de celle mesurée après la mesure de la quantité de mouvement »³⁴*. En effet, lorsque deux grandeurs X et Y sont non-commutatives, l'ordre de la mesure de X et de Y impacte le résultat des mesures.

³¹ W. Heisenberg, *La partie et le tout*, p. 132.

³² M. Esfeld, *Philosophie des sciences*, Presses polytechniques et universelles romandes, 2020, p120.

³³ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 493.

³⁴ O. Granier, « Une brève histoire des débuts de la physique quantique », in <http://www.olivier.granier.free.fr>, p50.

En mesurant X en premier le résultat est différent de celui qu'on obtient en mesurant X en second. La conclusion qu'on en tire est que cela tient au fait que la mesure de Y a perturbé celle de X et inversement. C'est cet état de chose qui avait amené Heisenberg à dire que :

« L'impossibilité de pouvoir mesurer simultanément deux grandeurs physiques comme la position d'une particule et sa quantité de mouvement a des conséquences inattendues sur la réalité physique : il n'est alors plus possible de déterminer avec précision l'état de la particule car on ne peut connaître à la fois sa position et sa quantité de mouvement. Ce résultat a été baptisé principe d'incertitude ou encore principe d'indétermination de Heisenberg. Sans la connaissance de l'état d'un système, il devient impossible d'en prédire l'évolution. La physique devient dès lors indéterministe »³⁵.

L'incertitude provient donc de l'ultra sensibilité des quanta, de l'impossibilité de mesurer avec précision et simultanément sa position et sa quantité de mouvement. En 1927, Heisenberg formulera les inégalités sur l'incertitude. Ces célèbres inégalités stipulent que : *« l'accroissement de précision dans l'une des deux grandeurs conjuguées s'accompagne nécessairement d'une diminution de précision dans la mesure de l'autre »³⁶*. Plus encore, à l'échelle quantique,

« Toute mesure apparaît ainsi comme une interaction entre l'objet microscopique sur lequel on effectue cette mesure et l'appareil de mesure proprement dit. Cette interaction empêche de faire la part entre ce qui revient en propre à l'appareil de mesure, comme si les propriétés des particules ne pouvaient plus être détachées des conditions de leur manifestation »³⁷.

Une telle vision des choses n'était pas admissible en physique classique :

« de telles conceptions de l'opération de mesure étaient absentes de la physique traditionnelle. Les physiciens s'étaient en effet habitués à l'idée qu'il est toujours possible de concevoir des appareils de mesure dont l'influence sur le système est aussi faible qu'on le veut(...) D'où l'idée qu'idéalement une mesure, quelle qu'elle soit, enregistre objectivement quelque chose qui est déjà là, sans modifier ses propriétés : elle n'aurait donc qu'un rapport passif avec le réel, se contentant d'opérer sur lui un simple décalque »³⁸.

Pour bien expliquer l'incertitude, Heisenberg va inventer « la mécanique des matrices où les propriétés physiques d'une particule, telles que l'énergie, la quantité de mouvement, la position ou le temps, sont représentées par des objets mathématiques appelés matrices, généralisations de l'idée de nombre »³⁹. Or en mathématique, les nombres obéissent à la loi de la commutativité et ne dépend pas de l'ordre. Ainsi, soient α et β deux nombres réels non nuls. $\alpha \times \beta = \beta \times \alpha$. Donc $4 \times 5 = 5 \times 4 = 20$. On dit alors que la multiplication est commutative. Par contre, la multiplication matricielle n'est pas en général commutative, elle dépend de l'ordre.

³⁵ Idem.

³⁶ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 52.

³⁷ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, p. 31.

³⁸ Idem.

³⁹ H. Pagels, *L'univers quantiques des quanta*, p. 87.

Soient A et B deux matrices non nulles. $A \times B \neq B \times A$. Ainsi, si $A = \begin{bmatrix} -2 & 3 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ et $B = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$ alors $A \times B = \begin{bmatrix} -2 & 3 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 6 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$. Par contre, $B \times A = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -2 & 3 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$ D'où $A \times B \neq B \times A$. Heisenberg a démontré que :

« Si deux matrices représentent deux propriétés physiques d'une particule – la matrice q correspondant à la position de la particule, et la matrice p à sa quantité de mouvement – sont telles que $p \times q$ n'est pas égal à $q \times p$, alors on ne peut mesurer simultanément les deux propriétés de ces particules avec une précision arbitrairement élevée »⁴⁰.

La nouvelle physique, la physique quantique, nous donne également de comprendre que l'instrument de mesure n'est pas neutre ; il conditionne l'expérience qu'il permet de réaliser : *« la physique quantique a obligé à reconsidérer cette prétendue neutralité de l'opération de mesure »⁴¹*. Elle vient surtout éliminer et dissiper le rêve laplacien d'une science exacte. La physique quantique nous commande donc d'abandonner toute prétention à l'absolu, à la certitude et de comprendre que, à l'échelle quantique, nous voulons dire qu'au niveau de la matière l'incertitude est la règle d'or. Niels Bohr, physicien danois, ira dans le même sens que Heisenberg en soutenant que *« Dieu joue aux dés »*. C'est-à-dire que la science est incertaine et aléatoire. Comme Heisenberg, il démontrera que l'instrument, le dispositif expérimental influence fortement le résultat d'une expérience au niveau quantique : *« c'est pourquoi on ne peut pas dire qu'un électron, par exemple, est un corpuscule, ou qu'il est une onde : il est l'un ou l'autre, selon le dispositif expérimental dans lequel il est plongé. C'est ce que Bohr appelle la complémentarité »⁴²*. La dualité onde-particule est donc à l'origine de l'incertitude en science. C'est à partir d'elle que Heisenberg formulera le *Principe d'incertitude*. Cette incertitude provient du fait que : d'une part, parce que le quantum est ultra-sensible et qu'on ne peut l'étudier avec la précision voulue et d'autre part parce qu'il n'a pas de nature fixe, il présente tantôt un aspect corpusculaire, tantôt un aspect ondulatoire.

III- EINSTEIN HANTE ET ALIENE PAR LE DETERMINISME

L'occasion nous est donnée de démontrer ici que, Einstein est comme un père qui renie son enfant. Ses travaux ont contribué à la naissance de la physique quantique, donc de

⁴⁰ *Ibid.*, p. 88.

⁴¹ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, p31.

⁴² D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 149.

l'indéterminisme mais il va rejeter l'indéterminisme. En effet, à la naissance d'Albert Einstein, c'est la physique newtonienne qui régnait. A la suite de Galilée, Isaac Newton va définitivement mettre fin au géocentrisme aristotélicien célébré par l'Eglise, et prouver par sa physique la véracité de l'héliocentrisme du physicien polonais Nicolas Copernic qui stipule que la terre n'est pas au centre de l'univers, mais qu'elle forme une orbite autour du soleil comme toutes les autres planètes.

« Isaac Newton doit surtout sa gloire à la formulation de la loi de la gravitation universelle, qui rend compte à la fois des révolutions des astres autour du soleil et de la pesanteur des corps à la surface de la terre. Newton introduit en physique le concept de masse et rend définitivement impossible le géocentrisme que l'Eglise a défendu jusqu'à Galilée. Newton accompagne son œuvre scientifique d'une réflexion épistémologique portant sur les règles de la méthode scientifique. Celles qu'il énonce seront, jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, considérées comme canoniques et inviolables »⁴³.

Avec Newton, nous sommes passés, comme l'avait souligné Alexandre Koyré, de la science contemplative métaphysique à la science active mathématique et physique. L'œuvre de Newton était grandiose et avait donné naissance à une nouvelle interprétation de l'univers, mais malheureusement une interprétation déterministe qui ne laissait pas de place au hasard :

« Une nouvelle interprétation de l'univers vit le jour au cours du siècle qui suivit les découvertes de Newton : elle porte le nom de déterminisme. Selon la conception déterministe, l'univers est une sorte de grande horloge mise en mouvement une fois pour toutes, au début des temps par une main divine. Dans ses plus vastes comme dans ses plus infimes mouvements, la création matérielle tout entière suit un chemin qui peut être prédit avec une précision absolue par les lois de Newton. Rien n'est laissé au hasard »⁴⁴.

Newton était honoré et même vénéré comme un dieu. Il était presque interdit de le critiquer. La physique newtonienne avait régné pendant deux siècles environ. Elle avait fortement marqué les esprits y compris celui d'Einstein. Cette physique newtonienne était devenue à un moment donné source de handicap. Car on pensait qu'elle était indépassable, on l'avait presque divinisée. Elle s'appliquait à tout au niveau macro, elle était devenue l'enseignement canonique en physique. C'est donc dans cet univers intellectuel déterministe que va grandir et étudier Einstein.

Selon Heinz Pagels, le déterminisme rigoureux issu des travaux de Newton procure un sentiment de sécurité quant à la place de l'humanité dans l'univers. C'est d'ailleurs la seule conclusion qu'on pouvait raisonnablement en tirer.

« Mais la conception déterministe de l'univers qu'elle soutenait est tombée en désuétude. Non pas à cause de quelque nouvelle philosophie ou de quelque idéologie réformatrice, mais parce

⁴³ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 317.

⁴⁴ H. Pagels, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, p.16.

que les physiciens expérimentateurs de la fin du XIX^{ème} siècle ont fait connaissance avec la structure atomique de la matière. Ils ont découvert que les unités de la matière au niveau atomique se comportaient d'une manière imprévue, incontrôlable dont la physique déterministe newtonienne était incapable de rendre compte »⁴⁵.

Einstein a assisté à la naissance de la nouvelle physique du XX^{ème} siècle, on peut même dire qu'il a beaucoup contribué à son enfantement. Ses travaux et ceux de Planck sont à l'origine de la nouvelle physique :

« Les articles d'Einstein de 1905 et l'article de Planck de 1900 sont à l'origine de la physique de notre siècle. Ils ont transformé toute la physique du passé. Le concept de quantum, inventé par Planck puis développé par Einstein en photon, obligeait à abandonner l'idée d'une nature continue »⁴⁶.

Cette nouvelle physique à laquelle Einstein vient d'être l'un des maïeuticiens principaux, était imprévisible, était gouvernée par le hasard et le tâtonnement. Elle exigeait, de ce fait, de nouvelles lois, des lois de probabilité. Ce fut un tournant majeur dans l'histoire de la physique.

« Tout comme Isaac Newton, deux siècles plus tôt, Albert Einstein marque un tournant dans l'histoire de la physique. Newton amena à bien la transition ébauchée par Galilée, passant de la physique scholastique médiévale à la physique classique ; Einstein fut le pionnier qui assura la transition entre la physique newtonienne d'une part, et la théorie quantique des atomes et du rayonnement d'autre part. Cette nouvelle physique était résolument non-newtonienne »⁴⁷.

Einstein était un esprit très brillant et novateur. Il va publier à partir de 1905 les trois articles qui lui vaudront toute sa gloire. Le premier article porte sur la mécanique statistique, il y prouve l'existence des atomes. Le deuxième article porte sur l'effet photo-électrique de la lumière, il prouve en utilisant l'hypothèse de Planck, que la lumière est une pluie de particule composée de quanta lumineux qu'il appellera plus tard photon. Cet article est le plus important car c'est à travers lui qu'il découvre la physique quantique. Le troisième porte sur la relativité restreinte, plus tard la relativité générale qui devait modifier radicalement la conception newtonienne de l'espace et du temps. Il recevra même un prix Nobel. Planck l'appellera en 1910 le Copernic du XX^{ème} siècle. *« A son propos, Max Planck put dire en 1910 : « s'il (article)... devait se révéler correct, ce dont je ne doute point, il(Einstein) sera considéré comme le Copernic du XX^{ème} siècle ». Planck avait parfaitement raison »⁴⁸.*

Mais à la surprise générale, Einstein restera attaché à son déterminisme classique : *« cependant, en dépit de tous ces changements, Einstein et tous les physiciens de sa génération restaient fidèles à la conception déterministe – selon laquelle chaque détail de*

⁴⁵ Ibid., p. 17.

⁴⁶ Ibid., p. 37.

⁴⁷ Ibid., p. 18.

⁴⁸ Ibid., p. 29.

l'univers est soumis à une loi physique »⁴⁹. Pour rester fidèle à la tradition déterministe, Einstein ira jusqu'à modifier sa théorie de la relativité générale, pourtant en accord avec l'indéterminisme.

*« Einstein s'en tint jusqu'à la fin de ses jours à la vision classique du déterminisme. Pour lui, il était impensable que le hasard et l'arbitraire puissent avoir place dans la structure fondamentale de l'univers. Sa vision du code cosmique – l'ensemble des lois éternelles de la nature qui régissent toute existence – ne laissait aucune place au hasard ou à l'intervention humaine »*⁵⁰.

En effet, lorsqu'il publie ses trois articles, Einstein a une idée bien claire : la description objective de la réalité ou du monde. Dominique Lecourt nous apprend à cet effet que :

*« Au fondement de ces trois articles se trouve l'idée de l'unification des lois de la physique qui sont toutes soumises au principe de la relativité (stipulant qu'il existe des points de vue équivalents sur le monde, donc une description objective de la réalité). C'est en poursuivant et en élargissant cette idée (relativité générale) qu'Einstein en est venu à la conclusion que seules sont réelles, indépendantes de l'observateur, les coïncidences dans un espace à quatre dimensions (espace et temps). C'est cette idée de l'objectivité qui l'a conduit à refuser catégoriquement la théorie quantique probabiliste »*⁵¹.

Einstein pensait que la physique quantique était superficielle et que par de-là le jeu aléatoire des particules, on découvrirait un jour une nouvelle physique déterministe. Ce fut le début de sa grande controverse avec Niels Bohr rapportée par Manjit Kumar dans son ouvrage *Le grand roman de la physique quantique*. Il osera même soutenir, au congrès de Solvay de 1927 en Belgique que « *Dieu ne joue pas aux dés* »⁵² s'opposant ainsi à l'interprétation probabiliste de la physique quantique de l'Ecole de Copenhague dont l'imminent représentant était Niels Bohr pour qui dieu joue aux dés ; comme nous, dieu connaît la probabilité et la statistique. En effet, « *L'interprétation de Copenhague dévoilait toute la cohérence interne de la théorie quantique, cohérence qui ne pouvait être acquise qu'au prix du renoncement au déterminisme et à l'objectivité du monde* »⁵³. Heinz Pagels dit :

*« Mais l'ironie de l'histoire veut qu'Einstein, tout en ouvrant la route à la nouvelle théorie quantique qui ébranla la conception déterministe du monde, ait rejeté cette même théorie. Il ne pouvait pas accepter, du point de vue intellectuel, que la réalité soit en dernière instance régie par les lois du hasard(...) Einstein fut donc le dernier physicien classique »*⁵⁴.

⁴⁹ Ibid., p. 37.

⁵⁰ Ibid., p. 59.

⁵¹ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 380.

⁵² M. Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, p. 419.

⁵³ H. Pagels, *L'univers quantique Des quarks aux étoiles*, p. 87.

⁵⁴ Ibid., p. 18.

Malgré ses brillantes découvertes et recherches dans le domaine de la microphysique, et voyant même à ce niveau des phénomènes complètement aléatoires et imprévisibles, Einstein restera déterministe. C'est pour cette raison que Heinz Pagels le considère comme le dernier des physiciens classiques. Robert Oppenheimer éminent physicien américain, cité par Manjit Kumar, ira plus loin en affirmant que « *Einstein est complètement zinzin* »⁵⁵.

Ce qu'il faut retenir au terme de ce chapitre est que la science n'est pas exacte Elle est aléatoire et incertaine. Hippocrate, Newton, Laplace, Einstein et bien d'autres ont eu tort de penser que dieu ne joue pas aux dés. La physique expérimentale en est une parfaite illustration. Robert Blanché pense que :

*« La vraie physique, c'est la physique expérimentale, celle qui vise à découvrir les lois des phénomènes ; quant aux causes qui se cachent derrière ces lois et qui en donneraient la raison, leur investigation demeure conjecturale et échappe ainsi aux prises de la méthode. On peut bien les imaginer, on peut même en imaginer plusieurs, on ne peut vraiment les connaître »*⁵⁶.

⁵⁵ R. Oppenheimer, cité par Manjit Kumar in, *Le grand roman de la physique quantique*, p. 361.

⁵⁶ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 149.

La découverte de la physique quantique est un tournant majeur dans l'histoire de la physique. C'est avec elle qu'on peut parler comme Thomas Kuhn de révolution scientifique. C'est-à-dire un changement radical et incommensurable de paradigme. Car les paradigmes de la physique classique et ceux de la physique quantique sont, en tout point, incommensurables c'est-à-dire n'ont pas de commune mesure. La physique quantique nous introduit dans un monde nouveau, un monde qui n'est plus considéré comme une grande horloge où tout a une cause certaine. Ce monde n'est plus continu mais discontinu, il n'est plus ordonné, mais désordonné. La physique quantique nous commande de rejeter tout dogmatisme, tout fondamentalisme et toute prétention à l'exactitude, à l'absolue. La physique quantique nous donne de retenir que le hasard rejeté par les anciens est l'une des vérités qui régissent le monde et son fonctionnement. Et que l'exactitude et la certitude jadis célébrées par certains scientifiques et philosophes sont des choses dont on doit se méfier.

CHAPITRE II : LE DYNAMISME ET LA NON-INERTIE DU REEL : SOURCE DU HASARD ET DU TATONNEMENT

De l'antiquité jusqu'au début du XXème siècle, l'on avait toujours pensé le réel comme l'ensemble des choses qui sont, c'est-à-dire qui ont une existence objective et constatable. Pour les philosophes et les scientifiques de cette époque, le réel s'oppose au relatif, à l'apparent, au fictif, au possible et à l'illusion. Le réel est donc « *l'être véritable des choses* »⁵⁷, « *ce qui agit effectivement ; ce sur quoi l'on peut compter(...) les choses telles qu'elles sont, non telles qu'elles pourraient être ou devraient être(...) ce qui en constitue la matière ; soit à titre de contenu positif et non de simple privation* »⁵⁸. Au sens kantien, la réalité est d'ordre phénoménal. La réalité pour nous n'est rien d'autre que la façon dont les choses nous apparaissent, elle est d'ordre phénoménal : une manifestation sensible de la chose. Mais la réalité n'est pas encore la connaissance. Il faut pouvoir la décrire, dégager sa structure, sa nature et ses propriétés caractéristiques pour la traduire en connaissance. Ces différentes définitions du réel sont très loin de la réalité du réel. Car la physique quantique nous a révélé que le réel n'est pas ce que la physique classique a pu définir. En effet, dans le domaine de la microphysique, le domaine de l'infiniment petit, c'est grâce à un appareillage très sophistiqué qu'on peut connaître le réel. L'introduction de l'appareillage dans ce domaine a révélé un monde très divers, à plusieurs niveaux et ultra-sensible si bien que cette ultra-sensibilité ne permet pas à l'appareil de nous révéler ce qu'est le réel. Ainsi donc, dans le domaine de la microphysique, « *le réel repose sur un fond d'irréalité* »⁵⁹. On procède donc ici par interprétation, par tâtonnement. Et ceci parce que le réel est en réalité dynamique c'est-à-dire non-inerte. Selon Denis Diderot, « *la matière est une substance dynamique se transformant de façon continue...* »⁶⁰. Les questions que nous pouvons faire nôtre sont les suivantes : premièrement, à quoi sont dus ce dynamisme et cette non-inertie ? Deuxièmement, pourquoi peut-on affirmer que le réel est relatif ? Troisièmement enfin, est-il encore pertinent que la science soit aliénée par la métaphysique ? La réponse à ces questions constituera le canevas de ce chapitre.

⁵⁷ D. Diderot, cité par L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 384.

⁵⁸ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 900.

⁵⁹ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 53.

⁶⁰ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 288.

I- LE MOUVEMENT : L'ELEMENT FONDAMENTAL DE LA MATIERE

Dans les sciences expérimentales, la matière est indispensable, et dans l'imagerie nécessairement vague de l'homme qui n'a pas goûté à la crème de la science, la matière va de soi. Si l'on essaie de dire à cet homme qu'il y a du mouvement dans la matière, il nous regardera comme un sorcier ou comme Diogène qui marche encore en plein jour avec une lampe. Mais pour le philosophe et le scientifique-chercheur, il faut se méfier des évidences. La matière est loin d'être une évidence, loin d'être une réalité. L'exploration de la matière est très ancienne. Elle remonte à l'antiquité grecque de Thalès, passant par les atomistes Leucippe et Démocrite jusqu'à Aristote. Si nous avons dit jusqu'à Aristote, ce n'est pas pour dire que l'étude de la matière s'est arrêtée à un moment donné. C'est parce qu'après lui, les autres philosophes antiques ne feront que, soit reprendre Thalès, soit Parménide, soit Héraclite, soit le matérialisme de Leucippe et Démocrite ou soit reprendre Aristote. Les nouvelles conceptions viendront plus tard dans la période moderne. C'est ce qui avait poussé Heisenberg à dire : *« le concept de matière a pris bien des aspects au cours de l'histoire de la pensée humaine. Les divers systèmes philosophiques lui ont donné des interprétations variées et toutes celles-ci subsistent encore plus ou moins dans notre conception actuelle du mot matière »*⁶¹.

Matière vient du latin *materia*, de *mater*, « la mère », « la source ». De l'antiquité à nos jours, les philosophes l'ont définie de diverses manières.

*« Selon Aristote, elle est ce qui peut recevoir la forme. Pour Epicure, la matière est la réalité fondamentale ; elle est constituée d'atomes discontinus se combinant diversement. Pour Descartes, elle est la substance des corps, dont l'essence est l'étendue géométrique (...) Bien qu'il voit dans toute matière le jeu d'une combinaison d'atomes, Epicure n'est pas à l'origine de la conception scientifique moderne de la matière »*⁶².

Dans la période classique, la notion de matière en vient à désigner la substance commune à tous les corps. Galilée affirma :

« Je dis que je me sens nécessairement amené, sitôt que je conçois une matière ou une substance corporelle, à la concevoir tout à la fois comme limitée et douée de telle ou telle figure, grande ou petite par rapport à d'autres, occupant tel ou tel lieu à tel moment, en mouvement ou immobile, en contact ou non avec un autre corps, simple ou composée et, par aucun effort d'imagination, je ne puis la séparer de ces conditions ; mais qu'elle doive être blanche ou rouge, amère ou douce, sonore ou sourde, d'odeur agréable ou désagréable, je ne vois rien qui contraigne mon esprit de l'appréhender

⁶¹ W. Heisenberg, *Physique et philosophie*, Paris, Albin Michel, 1971, p. 191.

⁶² L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 288.

nécessairement accompagnée de ces conditions ; et peut-être, n'était le secours des sens, le raisonnement ni l'imagination ne les découvrirait jamais »⁶³.

Il faut dire que l'idée d'atome évoquée par Epicure dans sa définition n'émane pas de lui. En effet,

« la première théorie atomiste de la matière fut proposée par les Grecs Leucippe et Démocrite au quatrième siècle avant notre ère. Dans les archives de la mémoire humaine, il s'agit de la première physique vraiment matérialiste, stipulant que les phénomènes physiques doivent être compris comme résultant de l'assemblage d'objets microscopiques, les atomos »⁶⁴.

Il est à noter que cette théorie atomiste de Leucippe et Démocrite fut combattue par d'autres physiciens et philosophes. Comme tout phénomène, le scientifique et le philosophe ont eu des images floues et erronées de la matière. Notre connaissance de la matière a donc été progressive et lente. C'est ce qui avait poussé Erwin Schrödinger à affirmer que :

« Pendant la seconde moitié du XIX^e siècle la matière semblait être la chose permanente à laquelle nous pouvions nous attacher. Il y avait une certaine masse de matière qui n'avait jamais été créée (pour autant que le physicien pouvait le savoir) et qui ne pouvait jamais être détruite. On pouvait compter sur elle et on avait le sentiment qu'elle était incapable de s'échapper des mains qui la manipulaient »⁶⁵.

Dans cette évolution dans la connaissance de la matière, les recherches d'une part de Hans Oersted et de James Maxwell sur l'électromagnétisme et celles de Michael Faraday sur le magnétisme d'autre part furent des avancées significatives. Car l'électromagnétisme de Maxwell avait marqué tout le XIX^{ème} siècle du point de vue de la physique. C'est pourquoi ce siècle est appelé par les physiciens siècle de Maxwell.

« Si l'on considère la théorie électromagnétique (ou électromagnétisme de Maxwell) et la mécanique statistique comme les deux théories qui ont façonné la physique du XIX^e s., alors Maxwell incarne à lui tout seul la physique de cette époque. D'autant que son activité s'est étendue à d'autres branches de la physique, considérées comme mineures par rapport à ces deux monuments théoriques(...) La théorie électromagnétique est une théorie unifiant en un même ensemble conceptuel l'électricité et le magnétisme, et plus tard l'optique, sur la base du concept de « champ », inventé par Faraday à la génération précédente et mathématisé par Maxwell »⁶⁶.

Mais la révolution au sens Kuhnien du terme, nous voulons dire un changement radical de paradigme, viendra avec Max Planck, lorsqu'il découvrit, au travers de son expérience sur le rayonnement du corps noir, le quantum au sein de la matière. C'est Einstein qui prouve, dans son premier article de 1905 l'existence des atomes dans la matière. De façon expérimentale,

⁶³ Galilée, cité par D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 723.

⁶⁴ L. Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, Paris, Harmattan, 2007, p. 24.

⁶⁵ E. Schrödinger, *Physique quantique et représentation du monde*, Paris, Seuil, 1992, p. 32.

⁶⁶ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 727.

c'est le physicien et chimiste Néo-Zélandais Ernest Rutherford qui prouvera l'existence de l'atome dans la matière en 1911. Il est d'ailleurs considéré par beaucoup comme le père de l'atomisme moderne. Ce retour à l'atomisme fut très bénéfique. Il nous a permis d'abandonner les images superficielles, partielles et parcellaires qu'on avait de la structure de la matière. Avec lui, nous avons pénétré les profondeurs de la matière. « *Dans le contexte de la science moderne, l'idée de matière renvoie aux caractéristiques considérées comme les plus profondes des objets naturels, leurs qualités premières* »⁶⁷. L'avènement de la physique quantique a provoqué un changement radical dans nos idées sur la matière. Les physiciens actuels de l'univers et de l'atome, en développant des modèles mathématiques de plus en plus sophistiqués sur la réalité physique, aboutissent à un résultat paradoxal : « *la matière s'idéalise ; elle tend à perdre la consistance et le caractère concret que lui accorde le sens commun, et les entités dont elle est constituée sont de moins en moins directement observables, de plus en plus abstraites et théoriques ou conceptuelles* »⁶⁸. En effet, au fil des siècles, la conception de la matière a considérablement progressé. Elle a cessé d'être ce qui est incapable de s'échapper des mains qui la manipulent pour davantage être une idéalité. Elle est constituée d'atomes liés entre eux par des liaisons de covalence. L'atome lui-même étant constitué d'un noyau et des électrons. Jusqu'à une date récente, on a pensé que le noyau atomique était indivisible. En 1932, en collaboration avec Walton, Cockcroft, élève de Rutherford, réussit à pénétrer le noyau atomique. Parallèlement, Lawrence et Livingston, aux Etats-Unis, réussirent à fabriquer un accélérateur, le cyclotron pour connaître la structure du noyau atomique.

*« Les travaux de Cockcroft, Walton et Lawrence marquent le début de l'ère moderne de la physique nucléaire expérimentale (...) Les physiciens comprirent qu'ils détenaient, avec le cyclotron, un nouvel instrument qui, à l'instar de la lunette de Galilée, leur permettrait d'explorer de nouveaux domaines – le monde microscopique subatomique. Par-delà l'atome, par-delà le noyau, s'étendait un territoire vierge, que nul n'avait encore jamais entrevu. Pour les physiciens, le noyau abritait la clef de la structure ultime de la matière et des lois fondamentales de la nature »*⁶⁹.

Plus les physiciens développaient des appareils de plus en plus sophistiqués, plus la structure de la matière et sa compréhension évoluaient. En effet, lors de leur périple au cœur de la matière, les physiciens se sont rendus compte que leur voyage ne s'arrête pas à l'atome et au noyau, mais dans un océan illimité de particules. « *Ils ont ainsi découvert dans l'univers de la matière subnucléaire une nouvelle frontière qui, à l'instar de la nouvelle frontière de l'espace, semble*

⁶⁷ Ibid., p723.

⁶⁸ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 288.

⁶⁹ H. Pagels, *L'univers quantique*, p. 197.

illimitée »⁷⁰. Au point où, ce qu'on avait jadis considéré comme particule élémentaire se trouve n'être pas élémentaire, mais divisible.

« Toutes les fois que nous atteignons un certain niveau de matière, nous découvrons que ce nouveau monde n'est pas élémentaire, mais divisible. Ainsi, on croyait à une certaine époque que les atomes étaient indivisibles, insécables, mais les physiciens sont parvenus à les briser. Puis on s'est rendu compte que les particules qui constituaient l'atome pouvaient, à leur tour, être réduites à des éléments plus petits ; et ainsi de suite, de proche en proche, il semble que la matière contienne un nombre infini de niveaux successifs – peut-être même n'existe-t-il pas de particules véritablement élémentaires, peut-être les particules sont-elles toujours constituées de particules encore plus petits »⁷¹.

La matière ou le réel se présente donc comme un tout complexe composé d'une infinité de niveaux élémentaires, toujours en mouvement, et dont on ne peut conférer une fixité pour l'étudier avec une certitude absolue. Ainsi donc, *« nous sommes actuellement obligés d'affirmer que les constituants ultimes de la matière n'ont aucune identité(...) il n'y a en effet aucune observation qui concerne la forme géométrique d'une particule ou d'un atome... »⁷²*. C'est peut-être ce qui avait amené Heisenberg à affirmer que : *« la matière n'est pas une réalité en soi, mais seulement une possibilité, une potentia »⁷³*. En 1979, Bernard D'Espagnat publiait un ouvrage au titre très curieux et choquant pour le sens commun : *A la recherche du réel*. Il démontre dans cet ouvrage, précisément au neuvième chapitre, *Le réel voilé*, que le réel s'idéalise et perd la forme que lui donne le sens commun. Pour illustrer cela, il fait une différence entre la physique quantique élémentaire et la physique quantique des champs. Il note que *« les champs quantiques ne sont pas des êtres. Ils diffèrent par là de ce que peuvent être les champs dans les théories classiques »⁷⁴*. En physique quantique des champs, les particules ne sont pas des réalités (des entités élémentaires comme on l'affirmait auparavant) mais des « propriétés ». Bernard D'Espagnat démontra donc que le réel n'est pas une réalité déterminée et absolue. Il constata que :

« Seulement, après de longues recherches, les hommes de science en sont à l'heure actuelle presque unanimement convaincus : la relativité générale classique ne peut pas constituer le fondement ultime de la physique. Le monde des particules élémentaires s'avère trop riche et trop subtil pour être coulé dans un tel moule. La théorie des champs quantiques est essentielle. Il apparaît ainsi que, en théorie des champs quantiques, la réalité est à un niveau plus profond que celui où la voit le sens commun et également la

⁷⁰ Ibid., p. 200.

⁷¹ Ibid., p. 201.

⁷² R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, pp. 292-293.

⁷³ W. Heisenberg, *Physique et philosophie*, p. 192.

⁷⁴ B. d'Espagnat, *A la recherche du réel*, Paris Dunod, 2015, p97.

mécanique quantique élémentaire. Une particule n'y est pas en soi une réalité. Elle est une propriété plus ou moins fugace de la réalité... »⁷⁵.

Etienne Klein dans son ouvrage *Petit voyage dans le monde des quanta* au chapitre neuf pense que le réel est une réalité qui semble se dérober. Il faut se méfier de l'éloquence par laquelle certains faits peuvent parler. La physique quantique a mis fin aux images qui permettaient à la pensée de penser et de saisir le réel. Etienne Klein nous enseigne que « *la disparition des poissons pilotes de l'intelligibilité que sont les images, les illustrations ou les schémas, engendre une frustration sceptique chez ceux qui ont besoin de voir pour croire* »⁷⁶. Perdre les images n'est pas un drame. La physique quantique tient son intérêt et son attractivité par son extraordinaire efficacité et par sa capacité à briser le confort dans lequel nous avaient installé les images, les illustrations et les schémas.

« C'est même en acceptant d'être à la fois abstraite et foncièrement iconoclaste que la physique quantique a pu bâtir son extraordinaire efficacité (...) c'est précisément ce confort-là que la physique quantique a brisé : avec elle, les relations de la réalité et du savoir ont perdu leurs couleurs de fausse évidence »⁷⁷.

Avec la physique quantique, la notion de particule s'efface, se perd, on baigne alors dans une abstraction qui ne dit pas son nom. Gaston Bachelard va exprimer d'une autre manière ce réel voilé ou ce réel qui s'idéalise. Il nous fait remarquer que : « *la connaissance du réel est une lumière qui projette toujours quelque part des ombres. Elle n'est jamais immédiate et pleine (...) Le réel n'est jamais ce qu'on pourrait croire mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser* »⁷⁸. Il exprime par là qu'on ne va pas à la connaissance du réel avec des idées toutes faites car son dynamisme et sa non-inertie nous l'interdisent. Ce dynamisme et cette non-inertie sont complexes. Mais cette complexité ne veut pas dire inconnaissable, mais tout simplement que, cet océan d'éléments ou mieux de propriétés ultra-sensibles nécessite un appareillage très sophistiqué, une ardeur et une patience dans le travail de la part du physicien-chercheur et du philosophe.

L'instabilité, nous voulons dire le mouvement, apparaît donc comme l'élément fondamental de la matière en ce sens que, les éléments qui constituent celle-ci sont toujours en mouvement très rapide rendant ainsi son étude difficile, imprévisible. Pour cela, étudier la matière revient d'abord à comprendre le mouvement qui caractérise ses éléments. Car en effet,

⁷⁵ *Ibid.*, pp. 98-99.

⁷⁶ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, p. 126.

⁷⁷ *Ibid.*, pp. 126-127.

⁷⁸ G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, version numérique de Jean-Marie Tremblay, courriel : Jean-Marietremblay@uqac.ca, site web pédagogique : <http://www.uqac.ca/jmt-sociologue/>, téléchargée ce 20 février 2018, 1934, p16.

c'est ce mouvement qui est en grande partie responsable de l'incertitude, du hasard et du tâtonnement inhérent à l'étude de la matière. Le mouvement peut sembler naturel et évident. Mais pourtant, la question du mouvement a donné naissance à des controverses en physique et en philosophie. Dominique Lecourt fait remarquer que :

« On a à peine imaginé aujourd'hui que la question du mouvement ait pu donner lieu à des controverses : le mouvement nous apparaît, tout « naturellement », comme le déplacement d'un objet sous l'effet de forces (dont la nature n'a pas besoin d'être précisée pour les besoins de la vie courante) qui lui sont appliquées. Des expressions telles que « mettre » un mobile en mouvement ou en « priver » un autre suggèrent l'idée que le mouvement est extérieur à l'objet : d'une part, la qualification du mouvement (par sa trajectoire et sa vitesse par exemple) est sans relation aucune avec la nature de l'objet en mouvement... »⁷⁹.

Apparue au XVII^{ème} siècle, cette conception du mouvement était venue s'opposer à la conception aristotélicienne. En effet, dans l'histoire des sciences, la question du mouvement avait opposé les aristotéliciens aux galiléo-newtoniens.

« En effet, dans la conception aristotélicienne, comme on vient de le voir, la question des rapports entre la « matière » et l'espace est inséparable de celle du mouvement : qu'il soit circulaire, rectiligne vers le bas ou rectiligne vers le haut, le mouvement naturel est le résultat d'une interaction entre l'espace et les choses, interaction qui, en vertu de la conception cosmologique qui sous-tend la physique d'Aristote, dépend de la nature des choses. La physique post-galiléenne repose, on le sait sur une cosmologie radicalement différente, la cosmologie copernicienne correspondant à un univers dépourvu de centre (en tout cas, la terre n'est plus le centre de l'univers), uniforme, sans lieux naturels. Parce qu'aucun de ces points ne peut être considéré comme le lieu privilégié d'une certaine chose (ou catégorie de choses), l'espace de la physique moderne est un pur espace géométrique, un espace sans qualité, indépendant de la matière. Autrement dit : la question des rapports entre la matière et l'espace est résolue de façon plus simple qui soit, en décrétant que ces rapports n'existent pas... »⁸⁰.

Affirmer que la qualification du mouvement est sans relation aucune avec la nature de l'objet en mouvement comme l'avait soutenu Aristote est une hérésie en physique quantique. Est aussi hérésie en physique quantique, le fait de soutenir l'inertie d'un objet comme Galilée et Newton. En physique quantique, le mouvement est consubstantiel à l'objet. Ce mouvement est interne. Si, apparemment à l'œil nu, un objet est au repos total, il est en mouvement à l'échelle quantique, du fait des particules ou des propriétés qui la constituent. On peut donc affirmer que l'objet est mouvement. Autrement dit, le mouvement est un attribut essentiel de l'objet quantique. Le mouvement qui caractérise les « particules » rend ainsi le réel dynamique et non-inerte. Le mouvement peut donc ainsi se comprendre comme l'état d'un corps, qui par nature, change continuellement de position et d'aspect. Cette définition qui est en rupture avec les

⁷⁹ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 768.

⁸⁰ *Ibid.*, pp. 769-770.

définitions classiques se justifie par le fait que, au niveau quantique ou subnucléaire, les mêmes expériences, répétées dans les mêmes conditions, ne produisent pas les mêmes effets. Avec le mouvement qui est consubstantiel à la réalité quantique, le principe de localité, un autre principe fondamental de la physique classique devient insoutenable. On peut donc dire, sans risque d'être démenti que, au niveau quantique ou subnucléaire le déterminisme est un non-être. Avec la physique classique, le postulat de continuité gouvernait la nature et la matière : *« les physiciens en étaient arrivés à formuler très nettement l'exigence à laquelle doit répondre une description vraiment claire et complète de tout événement physique : elle doit nous informer de façon précise de ce qui se passe en chaque point de l'espace à chaque moment du temps »*⁸¹. En physique quantique, ce postulat de continuité ne peut plus être satisfait, il devient même insoutenable. Avec la physique quantique, *« les observations doivent être considérées comme des événements discrets, disjoints les uns les autres (...) c'est pourquoi j'ai dit qu'il vaut mieux ne pas regarder une particule comme une entité permanente, mais plutôt comme un événement instantané »*⁸². Ce qu'il y a donc lieu de retenir c'est que la matière est discontinue, ses constituants ne sont pas des entités stables et statiques, mais des entités toujours en mouvement.

II- LA DUALITE ONDE-PARTICULE : SOURCE DU PARADIGME DE LA RELATIVITE

Il a été démontré plus haut que, en physique quantique, c'est la multiplication matricielle qui est la règle d'or. Au niveau quantique ou subnucléaire, un élément se présente toujours comme un danseur à de multiples touches et infini qui danse simultanément deux chansons indiscernables de la part de l'observateur. C'est Einstein qui, dans son deuxième article, démontra l'effet photo-électrique de la lumière et inventa le concept photon.

*« Les études menées sur la nature de la lumière montrent que suivant les conditions de l'expérience réalisée, la lumière peut être décrite soit par une onde électromagnétique soit par une assemblée de corpuscules : les photons. L'aspect ondulatoire de la lumière se manifeste par des phénomènes d'interférence et de diffraction tandis que l'aspect corpusculaire apparaît relativement dans l'effet photoélectrique »*⁸³.

En ce qui concerne les particules matérielles, la nature corpusculaire est évidente : *« toute particule est un corpuscule et se manifeste donc comme telle, alors qu'une manifestation*

⁸¹ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 293.

⁸² *Idem.*

⁸³ H. Bouchriha, « Introduction à la physique quantique », in www.pf-mh.rnu.tn, 2002, p. 78.

ondulatoire d'un corpuscule n'est pas une réalité physique tangible »⁸⁴. Il fallait attendre les travaux de Louis Victor De Broglie pour admettre que les particules matérielles ont aussi un aspect corpusculaire et un aspect ondulatoire comme la lumière : « ce qui est vrai pour les photons devrait l'être pour tout type de particule, c'est-à-dire que la matière doit posséder comme la lumière la double entité ondulatoire et corpusculaire »⁸⁵. Ce qu'il faut remarquer c'est que les deux propriétés de la particule sont indissociables et concomitantes elles sont aussi complémentaires. En clair, la

« Dualité onde-particule consiste en ceci que, selon la façon dont on observe telles ou telles particules quantiques, les phénomènes sont de nature tantôt ondulatoire (notamment par leur caractère continu et le fait qu'ils sont étendus dans l'espace), tantôt corpusculaire (notamment par certains aspects de discontinuité et de localisation dans un espace confiné). Plus encore : en général, ce sont les deux aspects qui se manifestent. Par exemple dans l'expérience des fentes de Young, on observe sur l'écran placé derrière les deux fentes à la fois la figure d'interférence caractéristique des ondes et la granularité caractéristique des corpuscules »⁸⁶.

Le principe de complémentarité résulte de la difficulté d'observer et de coordonner simultanément et avec précision les deux propriétés caractérisant la particule quantique. En effet, dès que l'on commence à bien observer l'aspect ondulatoire, l'aspect corpusculaire s'estompe et inversement. La dualité onde-corpuscule nous installe donc dans un univers aléatoire, relativiste dans les sciences modernes.

Heisenberg a démontré, comme nous l'avons souligné plus haut qu'en physique quantique, c'est la multiplication matricielle qui est la règle d'or. Appelons q la matrice de position et p la matrice de la quantité de mouvement. Soient Δq la dispersion ou incertitude de la position par rapport à sa valeur moyenne et Δp la dispersion ou incertitude des mesures de la quantité de mouvement par rapport à sa valeur moyenne. Heinz Pagels nous apprend que :

« Les incertitudes Δq et Δp n'ont de sens que si l'on a effectué un très grand nombre de mesures, afin de pouvoir comparer les différences entre les mesures individuelles. La relation d'incertitude de Heisenberg affirme alors qu'il est impossible de construire un appareil pour lequel les incertitudes calculées à la suite d'une longue suite de mesures ne rempliraient pas certaines conditions, à savoir que le produit des incertitudes, $(\Delta q) \times (\Delta p)$, doit être supérieur ou égal à la constante de Planck, h , soit en termes mathématiques : $(\Delta q) \times (\Delta p) \geq h$ »⁸⁷.

⁸⁴ Idem.

⁸⁵ Idem.

⁸⁶ S. Poinat, « Whitehead et les pères fondateurs de la mécanique quantique », in, <http://journals.openedition.org/noesis/1628>, 2008, mis en ligne le 15 décembre 2009.

⁸⁷ H. Pagels, *L'univers quantique*, pp. 88-89.

Notons que la constante de Planck h est : $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$. Le principe d'incertitude de Heisenberg que nous venons d'exposer nous donne donc de comprendre que la dualité onde-corpuscule est source de relativité.

Entre 1902 et 1905, le mathématicien français Henri Poincaré posait déjà le principe de la relativité en ce sens que le temps et l'espace ne sont pas absolus, la science ne peut concevoir que des mouvements relatifs ; *« mais il ne vit que des postulats, sans aucune signification physique »*⁸⁸. C'est Einstein qui démontra parfaitement, par sa théorie de la relativité, *« qu'il n'existe aucun système de référence universel par rapport auquel on puisse mesurer un mouvement »*⁸⁹. Car pour affirmer qu'un objet est en mouvement ou au repos, on se réfère à un autre objet de référence appelé le référentiel, d'où le caractère relatif du mouvement. Il démontre cela dans les deux théories suivantes : la relativité restreinte et la relativité générale. Dans la théorie de la relativité restreinte, Einstein traite du temps et de l'espace. Il dit que *« l'espace, c'est ce que nous mesurons avec une règle, et le temps, ce que nous mesurons avec une horloge »*⁹⁰ ; Einstein prouve qu'il n'existe pas de mouvement uniforme absolu ; que seule la lumière est dotée d'un mouvement absolu : 3×10^5 kilomètres par seconde. *« De ces deux postulats, constance de la vitesse de la lumière et relativité du mouvement, découle la structure logique de la relativité restreinte »*⁹¹. Le temps absolu n'existe pas, les grandeurs absolues sont une illusion. La mesure du temps par des personnes se déplaçant l'une par rapport à l'autre donne des résultats différents, une nette contradiction de ce qu'affirmait la physique classique. En effet, *« la relativité de l'espace et du temps nous trouble en ce sens qu'elle contredit notre intuition. Dans le quotidien, l'espace et le temps ne semblent pas devoir se contracter »*⁹². Avec la théorie de la relativité restreinte, Einstein allait également montrer que la masse et l'énergie ne sont pas des grandeurs distinctes. Tous les physiciens avant Einstein pensaient que l'énergie et la masse sont des grandeurs distinctes et indépendantes. Ce qui semble en effet être en accord avec l'expérience quotidienne. Mais entre 1905 et 1907,

*« Einstein, en effet, découvrit que les postulats de la théorie de la relativité impliquaient l'abandon de la distinction entre masse et énergie et de leur conservation séparée. Cette étonnante découverte tient tout entière dans l'équation $E = mc^2$. La masse et l'énergie ne sont rien de plus que les manifestations différentes d'une seule et unique chose »*⁹³.

⁸⁸ *Ibid.*, p. 33.

⁸⁹ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 387.

⁹⁰ H. Pagels, *L'univers quantique*, p. 30.

⁹¹ *Ibid.*, p. 31.

⁹² *Ibid.*, p. 33.

⁹³ *Ibid.*, p. 36.

Avec la théorie de la relativité générale, l'on peut comprendre qu'il y a équivalence entre la gravitation et un mouvement non-uniforme et notre espace est courbe, non plus plat, il est non euclidien. Einstein démontre que l'univers est constitué de planètes, des étoiles et des micro-éléments. Les éléments de l'univers se comportent comme des particules de la matière. Ils sont doués d'un mouvement non uniforme. Pour le démontrer, Einstein avait dû abandonner la géométrie euclidienne au profit de la géométrie riemannienne de l'espace. En effet, selon Einstein, la gravité est un concept superflu : « *Einstein a abandonné la notion de gravité pour celle de géométrie de l'espace courbe ; il a découvert que la gravité était en fait une géométrie. Telle est la conclusion principale de la théorie de la relativité générale* »⁹⁴. La dualité onde-particule présente dans tous les éléments de l'univers est source de relativité de leur mouvement.

III- LA NON-PERTINENCE DE L'ALIENATION DE LA SCIENCE PAR LA METAPHYSIQUE

Dans le *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, André Lalande définit la métaphysique comme un domaine du savoir qui concerne les essences et les principes. Plus précisément elle est, d'une part « *la connaissance des choses divines en même temps que celle des principes des sciences et de l'action* »⁹⁵. D'autre part, elle renvoie à la « *Connaissance des êtres qui ne tombent pas sous les sens* »⁹⁶. Enfin il s'agit de la « *Connaissance de ce que sont les choses en elles-mêmes, par opposition aux apparences qu'elles présentent* »⁹⁷ et « *La connaissance ultime, absolue, saisissant l'essence intérieure des êtres, par opposition aux apparences sensibles...* »⁹⁸.

La métaphysique était considérée dans l'antiquité comme la connaissance ultime et absolue. C'est ce qui avait justifié sa prééminence et le fait que la science lui soit assujettie pendant des siècles. Platon, dans ses travaux, avait distingué deux mondes : le monde des idées et le monde contingent ou monde sensible. Le monde des idées, le monde réel selon Platon, celui que l'homme devrait chercher, s'expliquait métaphysiquement.

Aristote également dans sa théorie de la nature va distinguer deux mondes : le monde supralunaire et le monde contingent ou monde sublunaire. Le monde supralunaire est celui de

⁹⁴ *Ibid.*, p. 46.

⁹⁵ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 612.

⁹⁶ *Idem.*

⁹⁷ *Ibid.*, p. 613.

⁹⁸ *Ibid.* p. 614.

l'ordre et de l'éternité. Le monde sublunaire étant celui de la contingence, de la corruption et du devenir. Les philosophes antiques avaient accordé une place prépondérante à la métaphysique, estimant que c'est elle qui expliquerait mieux les réalités du monde supralunaire et les autres sciences notamment les sciences de la nature et de la vie devaient expliquer le monde sublunaire.

« La théorie aristotélicienne de la « nature » (physis) présupposait un partage tranché dans l'ordre du monde (cosmos) : le monde des astres (supralunaire), objet des observations des astronomes, faisait apparaître la régularité et la perfection de mouvements circulaires éternels en droit intégralement explicables par l'arithmétique et la géométrie. Aristote imputait cette perfection au caractère divin des astres et en concluait qu'ils n'étaient pas constitués de la même matière que les réalités de notre monde (sublunaire) (...) Notre monde, lui, se présentait à l'observation comme celui du « devenir », de la génération et de la corruption, le monde du changement dont les « éléments » ultimes de tous les corps sont constitués par la terre, l'eau, l'air et le feu (...) Ces deux mondes se trouvaient donc soumis à des lois différentes. Deux mondes : deux sciences »⁹⁹.

Pour Platon et Aristote, le monde supralunaire ne pouvait s'expliquer que métaphysiquement, et le monde sublunaire physiquement. Toutes les autres sciences selon les antiques, devaient donc être sous la domination de la métaphysique. Mais à partir du XV^{ème} siècle, Francis Bacon publie *le Novum organum* qui devait être l'une des bases de la modernité scientifique. A la suite de Bacon, Galilée en prouvant l'héliocentrisme de Copernic va rejeter le géocentrisme aristotélicien. Ce rejet du géocentrisme par Galilée est de facto un rejet de la métaphysique. Car c'est physiquement et mathématiquement qu'on comprend l'univers et non métaphysiquement. Au XVIII^{ème} siècle, David Hume entame de façon décisive l'invalidation de la métaphysique qu'il qualifie de philosophie abstruse. Pour Hume,

« la pensée abstruse et les profondes recherches, je les interdis, et je les punirai avec sévérité, par la mélancolie pensive qu'elles font naître, par l'incertitude sans fin dans laquelle elles vous emprisonnent, et par l'accueil froid que rencontrent vos prétendues découvertes dès qu'elles seront divulguées. Soyez philosophe, mais au sein de votre philosophie, restez un homme »¹⁰⁰.

Une philosophie simple et facile est préférable à une philosophie abstraite, profonde et abstruse. La philosophie abstruse voile les inconséquences de la connaissance superstitieuse et incertaine qui ne peut se défendre sur le terrain clair du savoir : *« mais cette obscurité, dans la philosophie profonde et abstraite, objecte-t-on, est non seulement pénible et fatigante, mais est encore une source inévitable d'incertitudes et d'erreurs »¹⁰¹*. David Hume invalide ainsi la tradition

⁹⁹ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 173.

¹⁰⁰ D. Hume, *Enquête sur l'entendement humain*, p. 9.

¹⁰¹ *Idem*.

métaphysique au profit de l'empirisme scientifique. C'est pourquoi à la fin de *L'Enquête sur l'entendement humain* il avait écrit :

« Quand nous parcourons les bibliothèques, persuadés de ces principes, quel dégât devons-nous faire ? Si nous prenons en main un volume quelconque, de théologie ou de métaphysique scolastique, par exemple, demandons-nous : contient-il des raisonnements abstraits sur la quantité et le nombre ? Non. Contient-il des raisonnements expérimentaux sur les choses de fait et d'existence ? Non. Confiez-le donc aux flammes, car il ne peut contenir que sophismes et illusions »¹⁰².

A la suite de Hume, le cercle de Vienne tentera de mettre une ligne de démarcation claire entre science et métaphysique. Pour les positivistes logiques, la science est un discours certain et précis, elle ne doit reposer que sur des données empiriquement observables. Dans ce dessein, les positivistes logiques ont tenté de construire un langage scientifique pur, délivré de tout élément métaphysique. Pour eux, l'expérience constitue l'unique source pouvant fonder un critère de vérifiabilité des théories scientifiques et même de nos connaissances en général. Le positivisme scientifique sera soutenu par des physiciens comme Ernst Mach qui pense que « la physique théorique ne devrait jamais avoir recours à des idées qui ne puissent être dotées d'une signification précise et directe par le biais d'opérations expérimentales »¹⁰³. Selon Mach, « les idées sans rapport avec le monde empirique étaient, en physique, absolument superflues »¹⁰⁴. Cette pensée de Mach servira de boussole au développement de la nouvelle physique, la physique ne parle que de ce qu'elle connaît : c'est le positivisme physique. Le positivisme physique « stipule que nous ne pouvons parler que de ce que nous connaissons grâce à des opérations directes, des mesures par exemple. La réalité physique est définie à l'aide d'opérations empiriques bien réelles, et non par de douces rêveries »¹⁰⁵.

En plus ces considérations du cercle de Vienne et du positivisme physique, il faudrait également noter que la science est le moteur du renouvellement constant de la culture. Chaque rupture épistémologique, chaque révolution scientifique met fin à un certain type de rationalisme. La science est toujours en marche, elle est hantée par un double défi, celui de la découverte de l'inconnu et la création de conditions de vie de plus en plus dignes. Il devient non pertinent de l'aliéner par un discours oiseux, celui de la métaphysique. C'est en grande partie grâce à la science que le monde est ce qu'il est aujourd'hui ; en revanche, c'est à cause de la domination de la métaphysique et de la théologie véhiculées par l'Eglise catholique surtout qu'il a connu un grand retard. L'histoire nous enseigne que les progrès scientifiques ont été

¹⁰² *Ibid.*, p. 132.

¹⁰³ H. Pagels, *L'univers quantique*, p. 55.

¹⁰⁴ *Idem.*

¹⁰⁵ *Ibid.*, pp. 55-56.

rendus possibles grâce au recul de l'influence religieuse à partir de la période moderne et grâce au scientisme, je veux dire, la croyance en la toute-puissance de la science.

Nous pouvons donc retenir au terme de ce chapitre que la matière est discontinue, non-inerte ; elle est dynamique et son élément fondamental est le mouvement. Le mouvement est l'élément fondamental de la matière en ce sens que celle-ci est constituée d'entités ultrasensibles appelées quanta. Les quanta, toujours en mouvement très rapides, sont dotés d'un aspect corpusculaire et d'un aspect ondulatoire. Il est donc impossible de les étudier avec une précision absolue. Toute étude à ce niveau est relative. C'est pourquoi la dualité onde-particule est la source du paradigme de la relativité. La tradition métaphysique nous a rendus aveugles pendant des siècles, nous donnant une image erronée de la science. La microphysique, celle qui parle avec le hasard et l'incertitude, nous enseigne que l'aliénation de la science par la métaphysique est non fondée.

CHAPITRE III : HASARD ET TÂTONNEMENT : FACTEURS DE PROGRES DE LA SCIENCE

La science classique fondée sur le déterminisme, ne pouvait admettre en son sein l'aléatoire et la probabilité car elle avait de l'aversion pour le hasard. Bien que les philosophes antiques, à l'instar d'Aristote, eurent développé des théories sur la probabilité et la statistique, celles-ci n'entraient pas fondamentalement dans les sciences. En effet, les philosophes antiques s'intéressaient à la question du hasard non comme étant au fondement du progrès de la science, mais davantage comme étant au fondement des jeux de cartes et de lancer. Heinz Pagels fait remarquer à cet effet que : « Depuis les temps les plus anciens, les hommes sont fascinés par le hasard, tel qu'il se manifeste dans les jeux de cartes ou de dés »¹⁰⁶. D'ailleurs, leur théorisation formelle très tardive, située entre le XVIII^{ème} et le XIX^{ème} siècle, en est une parfaite illustration. La science née à partir de l'avènement de la physique quantique admet ou mieux fait corps avec la probabilité et la statistique car elle est fondée sur l'indéterminisme et « l'objectivité faible ». Si la probabilité et la statistique sont admises en science, cela veut dire que le hasard et le tâtonnement ont une place de choix en science. Dans ce chapitre, nous voulons donc démontrer que le hasard et le tâtonnement sont des facteurs de progrès de la science. Nous n'avons pas la prétention de nier, dans notre travail, les apports de Karl Popper, de Thomas Kuhn et de Gaston Bachelard sur la manière dont progresse ou évolue la science. Le premier a théorisé le falsificationnisme, le second le cycle « science normale », « science en crise », « science révolutionnaire » et le dernier enfin la notion d'obstacle épistémologique. Nous voulons ajouter à leurs précieux travaux le rôle du hasard et du tâtonnement dans la marche d'une science toujours perfectible. Avant toute chose, une clarification conceptuelle s'impose d'emblée. Ivar Ekeland démontre dans son ouvrage *Au hasard la chance, la science et le monde* que c'est le hasard qui gouverne la science. Dans cet ouvrage, il prouve que le hasard peut se comprendre de six manières différentes : l'aléa, le destin, l'anticipation, le chaos, le risque et enfin en termes statistiques. Ce qu'il faut noter c'est que, une définition claire et précise du hasard n'existe pas. A la question de savoir qu'est-ce que le hasard Heinz Pagels nous enseigne que :

« Lorsque nous tentons de répondre à cette question, il est important d'établir un distinguo entre le problème mathématique du hasard et le problème physique correspondant. Le problème mathématique est d'ordre logique, il s'agit de savoir ce que l'on entend par séquence aléatoire de nombres ou de fonctions. Le problème

¹⁰⁶ Ibid., p. 103.

physique du hasard consiste à déterminer si les événements physiques réels obéissent aux critères mathématiques du hasard »¹⁰⁷.

Pour contourner le problème d'ordre logique du hasard qui s'avérait être une énigme, les mathématiciens ont dû se contenter d'une définition opérationnelle :

« Leur définition opérationnelle est la suivante : le hasard et les probabilités sont ce qui obéit aux théorèmes que les mathématiciens déduisent à leur propos. La théorie mathématique des probabilités ne commence qu'après que des probabilités ont été assignées aux divers événements élémentaires »¹⁰⁸.

Le tâtonnement est plus dans l'esprit du chercheur que dans les choses. C'est l'homme qui tâtonne parce que son esprit doute, hésite, titube faute de certitude et de compréhension parfaite d'une réalité. Dans le dictionnaire, *Le Robert illustré*, tâtonner c'est « *hésiter, faute de compréhension suffisante. Faire divers essais pour découvrir une solution* »¹⁰⁹. Le tâtonnement peut donc être défini comme étant un mode de recherche qui procède empiriquement par essais renouvelés, par suppositions ou tentatives hasardeuses pour parvenir à un résultat. En tant que doute, le tâtonnement nous invite à l'humilité et à la recherche permanente.

I- HASARD ET TATONNEMENT : SOURCE DE CREDIBILITE DE LA FALSIFIABILITE

Le falsificationnisme apparait en épistémologie par les travaux du philosophe autrichien Karl Popper. Le falsificationnisme est le courant épistémologique selon lequel une théorie scientifique est valide si et seulement si elle est falsifiable. Laurence Hansen-Love définit la falsifiabilité comme étant le « *caractère des théories scientifiques qui sont toujours – et par nature – susceptibles d'être réfutées par l'expérience, mais qui ne peuvent jamais être définitivement confirmées ou corroborées* »¹¹⁰. En effet, pour Popper, la science, contrairement à ce que pense les positivistes logiques, n'est ni certaine ni précise. Elle n'est qu'hypothétique. La science naît à partir des problèmes plutôt que d'observations. Et les problèmes naissent des théories antérieures et non des faits bruts. La connaissance scientifique procède par une méthode critique ; elle procède par la formation de « conjectures » sur le réel et par des efforts pour « réfuter » ces conjectures. Dans *Conjectures et réfutations* Popper écrit en effet :

« La connaissance, et la connaissance scientifique tout particulièrement, progresse

¹⁰⁷ *Ibid.*, pp. 103-104.

¹⁰⁸ *Ibid.*, pp. 106-107.

⁹⁵ *Le Robert illustré*, collection, Ed Robert, mai 2016, p1859.

¹¹⁰ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 171.

grâce à des anticipations non justifiées (et impossibles à justifier), elle devine, elle essaie des solutions, elle forme des conjectures. Celles-ci sont soumises au contrôle de la critique, c'est-à-dire des tentatives de réfutation qui comportent des tests d'une capacité critique élevée. Elles peuvent survivre à ces tests mais ne sauraient être justifiées de manière positive : il n'est pas possible d'établir avec certitude qu'elles sont vraies, ni même qu'elles sont « probables » (au sens que confère à ce terme le calcul des probabilités). La critique de nos conjectures est déterminante : en faisant apparaître nos erreurs, elle nous fait comprendre les difficultés inhérentes aux problèmes que nous tentons de résoudre»¹¹¹.

Selon Popper, en science, il en va toujours ainsi : les scientifiques proposent des théories et ensuite ils tentent de les réfuter. Et quand on arrive à réfuter une théorie, on en propose une autre, et ainsi de suite. C'est la thèse que Popper défend dans la formule « *conjectures et réfutations* ». Ainsi, plus une théorie passe les tests construits pour la réfuter, plus elle est sérieuse. Autrement dit, la qualité scientifique d'une théorie pourrait se mesurer par le nombre d'épreuves qu'elle passe et réussit. Dès lors, si une théorie ne permet pas de construire des tests pour la réfuter, elle se trouve écartée parce que non scientifique : c'est le critère de falsifiabilité de Popper. Voilà pourquoi les scientifiques accordent du prix à une incohérence. Car celle-ci s'avère être un avantage plutôt qu'un obstacle. Roland Omnès l'exprimera de manière très éclatante : « *ils la cherchent, la traquent, car ils en entendent un progrès majeur bien plus qu'ils ne craignent un véritable danger...* »¹¹². Pour Popper, toute théorie scientifique est provisoire, non encore falsifiée, en attente de l'épreuve falsifiante définitive qui va provoquer son effacement et son remplacement par une autre théorie. Mais cela ne veut pas dire que Popper fait place au relativisme. Une vérité existe certes, mais asymptotiquement. Il va ainsi remplacer le concept vérité par celui de vérisimilitude. Donc, la science avance selon une stratégie d'essai et d'erreur. Le progrès d'une science s'identifie alors à la construction de théories de vérisimilitude croissante. Dans *La logique de la découverte scientifique*, Popper écrit en effet :

« Un savant qu'il soit théoricien ou praticien, propose des énoncés ou systèmes d'énoncés et les teste pas à pas. Dans le domaine des sciences empiriques plus particulièrement, il bâtit des hypothèses et systèmes théoriques et les soumet à l'épreuve de l'expérience par l'observation et l'expérimentation. C'est la tâche de la logique de la découverte scientifique de fournir une analyse de cette procédure c'est-à-dire d'analyser les méthodes des sciences empiriques. Voilà ma thèse »¹¹³.

Selon Popper, il n'existe pas de théorie scientifique éternelle. Cette nouveauté est bénéfique pour la science. Car c'est la preuve qu'aucun savant ne détient la vérité totale et parfaite, mais la vérisimilitude. Popper n'a pas totalement raison de penser que les problèmes, en science,

¹¹¹ K. Popper, *Conjectures et réfutations : la croissance du savoir scientifique*, Paris, Gallimard, 1963, pp. 9-10.

¹¹² R. Omnès, *Philosophie de la science contemporaine*, Paris, Gallimard, 1994, p. 34.

¹¹³ K. Popper, *La logique de la découverte scientifique*, Paris, Payot, 1967, p. 25.

naissent des théories antérieures et non des faits bruts. En réalité, c'est le hasard et le tâtonnement qui sont au fondement de la vérisimilitude et du caractère provisoire des théories scientifiques. Il y a hasard et tâtonnement parce que le réel s'idéalise et qu'il est dynamique et non-inerte. Nous avons démontré dans le chapitre précédent que la dualité onde-particule est la source du paradigme de la relativité. Ainsi donc, la pensée purement logique dont Popper fait l'apologie ne peut pas à elle seule justifier du caractère provisoire des théories scientifiques. En effet, après les travaux de Galilée et Kepler nous avons déjà compris que :

« La pensée purement logique ne peut nous donner aucune connaissance du monde de l'expérience. Toute connaissance au sujet de la réalité commence avec l'expérience et se termine par elle ; les conclusions obtenues par des démarches purement rationnelles sont, par rapport à la réalité, entièrement vides. C'est pour l'avoir reconnu, et spécialement pour l'avoir imposé au monde savant, que Galilée est devenu le père de la physique moderne et, en fait, de toute la science moderne de la nature »¹¹⁴.

La raison a encore toute sa place, car :

« Un système complet de physique théorique consiste en concepts et en lois de base pour relier ces concepts, avec les conséquences qui dérivent de là par déduction logique. C'est à ces conséquences que doivent correspondre nos expériences particulières, et c'est la dérivation logique de ces conséquences qui, dans un ouvrage purement théorique, occupe de beaucoup la plus grande partie du livre (...) La raison donne au système sa structure ; les données de l'expérience et leurs relations mutuelles doivent correspondre exactement aux conséquences de la théorie »¹¹⁵.

Mais cette raison reste dans une étape cruciale de compréhension et de théorisation du fait observé dans la matière ou le réel. Les théories antérieures sont mises en difficultés ou mieux falsifiées que parce que le réel est dynamique et non inerte. Le réel n'est pas statique, il est toujours en mouvement au niveau quantique. Ainsi, chaque théorie faite sur le réel n'est que le résultat d'un hasard et d'un tâtonnement. La connaissance qu'a le scientifique sur le réel n'est donc jamais chose établie *ad vitam, aeternam* car elle est limitée. Les quanta nous révélant toujours, par insistance de notre part, des aspects de leur nature que nous ignorions aux expériences précédentes. Le hasard et le tâtonnement sont source de crédibilité de la falsifiabilité en ceci que c'est eux en réalité qui nous poussent à réviser nos théories. La falsifiabilité n'est pas et ne saurait être, le résultat d'une pure abstraction, c'est-à-dire un pur processus logique. Mais le résultat d'une expérience hasardeuse et tâtonnante sur le réel : un réel dynamique et non inerte, un réel dont le mouvement est l'élément fondamental.

¹¹⁴ R. Blanché, *La science expérimentale et la philosophie de physique*, pp. 270-271.

¹¹⁵ *Idem*.

II- HASARD ET TATONNEMENT : CRITIQUE DU DOGMATISME SCIENTISTE

Le dogmatisme scientifique peut se décliner sous deux aspects de nature différente : premièrement sous la forme de monisme et secondement sous la forme de conservationnisme.

Le dogmatisme scientifique se manifeste sous la forme moniste par la recherche de l'unité. Il est fondé sur le principe classique de l'uniformité des lois de la nature. Ainsi, critiquer le monisme revient à démontrer que le principe de l'uniformité des lois de la nature est indéfendable. En d'autres termes, il s'agira pour nous de démontrer que les mêmes lois ne sont pas applicables à tous les niveaux du réel. Dans le *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, André Lalande définit le monisme comme étant : « tout système philosophique qui considère l'ensemble des choses comme réductible à l'unité : soit au point de vue de leur substance, soit au point de vue des lois par lesquelles elles sont régies, soit enfin au point de vue moral »¹¹⁶. C'est Dominique Lecourt qui nous donne une compréhension très claire du monisme. Selon lui, c'est « Christian Wolff qui forge le terme monisme par opposition au dualisme »¹¹⁷. « Le terme monisme, en philosophie des sciences, désigne tout principe d'explication de la matière ou de l'esprit par une cause unique »¹¹⁸. En physique spécialement, le monisme apparaît avec la thermodynamique de Sadi Carnot et l'électromagnétisme surtout de Maxwell. Dominique Lecourt précise donc à cet effet : « cette tendance à l'unification dans le domaine physique et cosmologique se retrouve dès l'apparition de la thermodynamique et de l'électromagnétisme »¹¹⁹. Après les travaux de Bacon à la renaissance, le siècle des lumières avait voulu rompre totalement avec le dogmatisme métaphysique. Mais comme le souligne, Robert Blanché, le dogmatisme avait tout simplement changé de camp. Nous sommes passés du dogmatisme cartésien au dogmatisme scientifique. C'est pour cela qu'il avait écrit :

« Mais le scepticisme à l'égard de la métaphysique n'a pas aboli l'assurance dogmatique : celle-ci n'a fait que se renforcer en changeant de camp, en passant de la spéculation métaphysique à la connaissance scientifique. Si différent qu'il fut du dogmatisme cartésien, ce nouveau dogmatisme lui ressemblait néanmoins comme ressemble à une image son reflet dans l'eau : car ce n'était, en somme, qu'un cartésianisme renversé, un dogmatisme inductif dont les certitudes fondamentales étaient situées au niveau de l'expérience au lieu de l'être à celui des principes »¹²⁰.

¹¹⁶ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 648.

¹¹⁷ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 763.

¹¹⁸ *Idem*.

¹¹⁹ *Idem*.

¹²⁰ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 229.

Le dogmatisme scientiste établit que des théories sont quasiment éternelles. C'est une sorte de théologie qui s'exprime en ces termes :

« Une proposition scientifique, une fois établie, est incontestable, puisque, étant fondée avec toute la précision du calcul sur des expériences objectivement contrôlables, elle est vraie et reconnue comme telle (...) Chacune des acquisitions de la science est définitive... »¹²¹.

Ces théologiens scientistes pensaient que la science était toute puissante et infaillible. Ils ont forgé le concept « scientisme », entendu comme la croyance en la toute-puissance de la science. Cette science trouvera une loi générale capable d'expliquer tout :

« On espère que la science, en laquelle on voit la religion de l'avenir, parviendra à réaliser une synthèse du savoir à la fois totale et exhaustive. Totale en ce qu'elle réussira à finalement rassembler sous une loi unique, après diverses unifications partielles, l'ensemble de nos connaissances, la réduction mécaniste marquant déjà une première étape. Exhaustive, en ce qu'une telle synthèse ne laissera plus rien en dehors d'elle et que les vieux problèmes métaphysiques seront par elle ou bien absorbés ou bien dissous »¹²².

Selon le dogmatisme scientiste, l'idée d'une loi unique est liée à la législation divine et elle n'est pas nouvelle.

« Lorsque Bacon parle de la summaria naturae lex, il l'identifie à ce que l'Ecclésiaste désigne comme l'œuvre que Dieu opère depuis le commencement jusqu'à la fin et il déclare avoir de bonnes raisons de douter que l'intelligence humaine puisse jamais y atteindre. Lorsque d'Alembert voit dans l'univers un fait unique et une grande vérité, il a soin de préciser qu'il n'apparaîtrait tel qu'à qui saurait l'embrasser d'un seul point de vue, ce qui est refusé à la faiblesse de nos lumières »¹²³.

C'est Auguste Comte qui, dans son positivisme, commença à voir dans la science, les dangers que peut générer le monisme. Il n'admettait pas l'introduction d'idées métaphysiques en science. Robert Blanché précise que : *« c'est précisément en raison de ce lien avec des idées théologiques ou métaphysiques que Comte refuse à la science positive la recherche d'une telle unité »¹²⁴*. Comte sera suivi par le physiologiste allemand Emil Heinrich du Bois-Reymond :

« Ainsi le physiologiste Emile du Bois-Reymond, dans une conférence remarquée et dont le titre est significatif, Sur les limites de notre connaissance de la nature, proteste contre le monisme matérialiste et proclame qu'il y a des questions dont la solution échapperait même à l'idéale intelligence laplacienne et devant lesquelles il ne nous suffit pas de dire : ignoramus, mais il nous faut avouer : ignoramus »¹²⁵.

¹²¹ *Idem.*

¹²² *Ibid.*, p. 230.

¹²³ *Idem.*

¹²⁴ *Ibid.*, pp. 230-231.

¹²⁵ *Idem.*

Du côté des philosophes, c'est Emile Boutroux qui fait remarquer que le réel n'est pas uniforme, il est constitué de plusieurs niveaux, chacun étant régi par ses propres lois.

« L'une des critiques les plus directes se trouve dans la thèse d'Emile Boutroux (...) qui défend avec force (...) l'idée d'une hiérarchie entre les divers degrés de l'être : les lois de chaque niveau présentant, par rapport à celles du niveau inférieur qui les supporte, quelque chose de radicalement nouveau, un élément de contingence, qui interdit de les en déduire et de prétendre ainsi à une synthèse moniste où tout serait régi par la nécessité d'une loi suprême »¹²⁶.

Cette critique de Boutroux est très bénéfique. Elle nous permet d'introduire ici la physique quantique. Car en effet, l'avènement de la physique quantique nous a donné de comprendre que le niveau macro et le niveau micro ne sont pas régis par les mêmes lois. Nous avons démontré au second chapitre de notre travail que le réel s'idéalise, il est constitué d'une infinité de niveaux élémentaires ; chacun de ces niveaux étant par nature différent des autres. Il devient donc évident qu'une seule loi générale ne saurait s'appliquer à tous ces différents niveaux élémentaires. Ainsi, le principe de la physique classique, l'uniformité des lois de la nature, tombe en désuétude, il devient indéfendable. Nous prenons pour exemple les lois de Newton qui s'appliquaient parfaitement au niveau macro, avaient éprouvées des difficultés au niveau quantique. En physique quantique, le hasard et le tâtonnement sont omniprésents, on ne peut rien faire sans se « référer » à eux. Ils nous interdisent toute prétention à l'absolu.

En ce qui concerne le conservationnisme, une autre déclinaison du dogmatisme scientiste, il est davantage de l'ordre de la disposition spirituelle du savant : purement scientifique, politique voire même religieuse. Notons tout d'abord que le conservationnisme est un terme que nous empruntons au langage écologiste. Nous le définissons ici comme toute tendance scientifique ou philosophique qui tend à conserver intacts, et ce de manière dogmatique, les acquis scientifiques passés et en toujours faire l'éloge. C'est donc une forme de religion qui lutte contre la pensée critique, la pensée humaine libre, et qui craint la nouveauté. Le conservationnisme est très fréquent et visible en science. Gaston Bachelard dans son ouvrage *La formation de l'esprit scientifique* note que :

« Les grands hommes sont utiles à la science dans la première partie de leur vie, nuisibles dans la seconde moitié (...) Mais enfin l'instinct formatif finit par céder devant l'instinct conservatif. Il vient un temps où l'esprit aime mieux ce qui confirme son savoir que ce qui le contredit, où il aime mieux les réponses que les questions. Alors l'instinct conservatif domine, la croissance spirituelle s'arrête »¹²⁷.

¹²⁶ *Idem.*

¹²⁷ G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, p. 18.

L'une des explications que nous pouvons tirer de ce passage de Bachelard est que, les hommes de sciences produisent et sont ouverts aux critiques quand ils sont encore jeunes. Une fois qu'ils vieillissent ils deviennent des conservateurs. Et cet esprit, l'instinct conservatif, est un obstacle pour la science. Car ils oublient que « *une connaissance acquise par un effort scientifique peut elle-même décliner* »¹²⁸. Ce qu'il faut noter c'est que, le conservationnisme devient très dangereux lorsque la politique et la religion prennent la science en otage. Nous prenons à titre d'exemple l'Eglise catholique qui défendait le géocentrisme et punissait tous ceux qui pensaient autrement, en URSS « *Trofim Lyssenko qui, soutenu par Staline, lutte durant de longues années contre la génétique et le darwinisme, accusés d'être l'émanation d'une science occidentale bourgeoise et décadente* »¹²⁹. Mais quel qu'en soit le cas où le caractère du conservationnisme, avec Mouchili Njimon, nous avons compris et admis qu'à voir comment fonctionne la science, il ne peut pas y avoir de connaissance dont l'éternité et l'immutabilité pourraient caractériser la structure et le contenu. « *La science peut en tout temps se déjuger. C'est une de ses grandes fiertés* »¹³⁰. Car toute connaissance sur le réel est le résultat d'un hasard et d'un tâtonnement. Elle est donc provisoire. Cela dit, lorsque le réel nous révélera une autre facette de sa nature, nos connaissances (des vérisimilitudes) devront être révisées ou tout simplement disparaître. Le hasard et le tâtonnement advenus avec la physique quantique, sont les moteurs du renouvellement constant de la connaissance scientifique.

III- DU FONDEMENT DES PROGRES SCIENTIFIQUES

A la question de savoir qu'est-ce qui fait que la science avance ? Qu'est-ce qui fait qu'on soit passé, par exemple, de la physique classique à la physique quantique ? Karl Popper nous a enseigné que toute théorie scientifique est provisoire. Pour lui, ce sont les questions de procédure, du caractère imparfait des théories qui fait que la science avance. Ainsi, tester ou falsifier une théorie, c'est la possibilité de voir l'expérimentation la démentir. Nous avons déjà largement expliqué ce point de vue plus haut.

¹²⁸ *Idem.*

¹²⁹ F. Rothen, *Aux limites de la physique : les paradoxes quantiques*, Lausanne, presses polytechniques et universitaires romandes, 2015, p. 84.

¹³⁰ *Ibid.*, p. 85.

Thomas Kuhn s'opposera à cette vision de Popper. Pour Kuhn, l'activité scientifique n'est pas caractérisée par cette logique constamment critique qu'on reconnaît à la rationalité scientifique. En effet,

« à partir d'une enquête minutieuse sur l'histoire des sciences, Kuhn a construit une conception originale de la connaissance scientifique. Il récuse la façon dont le positivisme logique et Popper reconstituent une méthode scientifique idéale sans s'intéresser au processus historique réel de la fabrication de la science. En effet, la science normale ou ordinaire ne fonctionne pas selon une pure logique de l'objectivité. Elle repose au contraire sur des paradigmes établis dans la communauté scientifique par consensus, c'est-à-dire acceptés non seulement en fonction de leurs succès expérimentaux mais aussi de considérations institutionnelles, philosophiques, idéologiques, voire esthétiques »¹³¹.

Ainsi, selon Kuhn, soumettre une théorie à des tests pour tenter de la falsifier n'est en aucun cas l'allure habituelle de la science. Le savant ne cherche guère à remettre en cause sa tradition scientifique. Dans *La structure des révolutions scientifiques*, Kuhn pense la dynamique du progrès scientifique comme une évolution dialectique dont les étapes sont : la « science normale », la « science en crise » et la « science révolutionnaire » ou révolution scientifique. Trois régimes de l'activité scientifique déterminés par leur rapport au paradigme : rapport d'acceptation et d'adhésion au paradigme en science normale, rapport de rejet du paradigme pendant la crise, et rapport de fondation d'un nouveau paradigme, signe de la révolution scientifique. Mais avant d'aller plus loin, il convient d'abord de définir ce que Kuhn entend par paradigme. Le paradigme est le contexte (théories acceptées, pratiques scientifiques, hypothèses, questions, méthodes, instruments, résultats, croyances...) qui marque tout ce qui passe par lui. Dans *La philosophie de A à Z*, Laurence Hansen-Love, analysant l'épistémologie de Kuhn définit le paradigme comme une

« vision du monde ou mythe fondateur d'une communauté scientifique particulière, à un moment précis de son histoire, qui sert de modèle de référence et qui inaugure une nouvelle tradition dans une discipline. Appareil théorique et ensemble de procédures, de lois et de schémas exemplaires constituant la matrice disciplinaire qui encadre et oriente provisoirement la recherche dans un domaine défini »¹³².

C'est le paradigme qui donne sens à la pratique normale de la science. Pour la communauté scientifique, il est à la fois le fondement de tout questionnement et le cadre de référence pour toutes les réponses possibles. Au temps de la science normale donc, le scientifique travaille et fait des recherches et expériences dans le cadre référentiel bien défini par le paradigme. Ce paradigme justifie une série de problèmes bien définis, de vérités reconnues, de théories

¹³¹ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 253.

¹³² *Ibid.*, p. 334.

approuvées, d'expériences acceptées, de croyances partagées de même que les méthodes et instruments dont le scientifique sait en toute confiance qu'elles conduiront à la solution. Pendant la période de science normale, les scientifiques sont animés par un esprit de profit et d'exploitation de leur paradigme : *« c'est seulement par la science normale qu'un groupe scientifique réussit, d'abord à exploiter la portée potentielle et les possibilités de précision d'un paradigme »*¹³³. Ainsi donc, *« loin donc, comme le voulait Popper, de progresser en cherchant impitoyablement à falsifier ses hypothèses, la science normale est conservatrice : elle pose les problèmes et cherche à les résoudre dans le cadre des paradigmes en vigueur qu'elle tend à vouloir sauvegarder »*¹³⁴.

Mais il arrive souvent, lorsque la communauté scientifique cherche à tirer profit de son paradigme en étendant son champ d'application, que certains problèmes et contradictions naissent et résistent aux efforts répétés des scientifiques les plus éminents de la communauté, et mettent en difficulté le paradigme dans lequel ils travaillent. La communauté scientifique se rend compte *« combien un paradigme peut être limité, tant en envergure qu'en précision »*¹³⁵. Les scientifiques, conservateurs et jaloux de leur paradigme, vont tenter de l'ajuster. Lorsque cette tentative d'ajustement s'avère vaine, s'instaure alors une situation de crise. Il s'agit là d'une période d'insécurité durant laquelle les scientifiques sont déconcertés, car ils sont confrontés à des énigmes qu'ils n'arrivent pas à déchiffrer ou à résoudre.

*« L'émergence de nouvelles théories est généralement précédée par une période de grande insécurité pour les scientifiques. Comme on pouvait s'en douter, cette insécurité tient à l'impossibilité durable de parvenir aux résultats attendus dans la résolution des énigmes de la science normale. L'échec des règles existantes est le prélude de la recherche de nouvelles règles »*¹³⁶.

Ainsi, lorsque le paradigme est affaibli, malgré les tentatives d'ajustement, ses tenants perdent confiance en lui, la crise s'aggrave et le temps est propice pour la révolution.

La révolution scientifique est donc la mise en place d'un nouveau paradigme. Selon les termes de Kuhn, *« le passage au nouveau paradigme est une révolution scientifique »*¹³⁷. Mais selon Kuhn, l'opération par laquelle un nouveau paradigme fait son apparition est d'abord une affaire individuelle. *« Le nouveau paradigme, ou une indication qui permet sa formulation future, apparaît tout à coup, parfois au milieu de la nuit, dans l'esprit d'un homme*

¹³³ T. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Trad. Laure Meyer, Paris, Flammarion, 1970, p. 209.

¹³⁴ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 253.

¹³⁵ T. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, p. 46.

¹³⁶ *Ibid.*, p. 102.

¹³⁷ *Ibid.*, p. 131.

profondément plongé dans la crise »¹³⁸. Et malgré les réticences de certains membres de la communauté scientifique, tenant d'un paradigme traditionnel, le nouveau paradigme s'impose petit à petit comme très différent de l'ancien et incompatible avec lui. Ici se révèle tout le sens de la révolution scientifique. Car l'avènement d'un nouveau paradigme est la consécration d'un changement fondamental dans la façon de poser les problèmes et de voir le monde.

« Quand les paradigmes changent, le monde lui-même change avec eux. Guidés par un nouveau paradigme, les savants adoptent de nouveaux instruments et leurs regards s'orientent dans une direction nouvelle. Fait encore plus important, durant les révolutions, les scientifiques aperçoivent les choses neuves et différentes (...) Les changements de paradigmes font que les scientifiques, dans le domaine de leurs recherches, voient tout d'un autre œil. Ce qui, avant la révolution, était pour l'homme de science un canard, devient un lapin »¹³⁹.

Avec l'apparition du nouveau paradigme, le savant ou le scientifique doit réapprendre, il doit s'adapter à nouveau. Car le monde ancien s'en est allé avec l'effondrement de l'ancien paradigme, un monde nouveau est apparu avec le nouveau.

« C'est pourquoi, aux époques de révolution, quand change la tradition de science normale, l'homme de science doit réapprendre à voir le monde autour de lui ; dans certaines situations familières, il doit apprendre à voir de nouvelles formes. Le monde de ses recherches lui paraîtra ensuite, sur certains points, incommensurable avec celui dans lequel il habitait la veille »¹⁴⁰.

La révolution scientifique s'apparente à une conversion mystique de l'esprit. C'est une avancée, un progrès scientifique. Avec Kuhn nous comprenons que les révolutions scientifiques sont facteurs de progrès. Ce progrès touche tout l'édifice scientifique : les hypothèses, les méthodes, les instruments, bref une meilleure façon de voir le monde et de le comprendre. Cette nouvelle façon de voir le monde est incommensurable avec l'ancienne. C'est pourquoi Kuhn parle « d'incommensurabilité » des paradigmes.

Popper et Kuhn ont eu le mérite d'avoir, l'un affirmé que les théories scientifiques sont provisoires, et l'autre que la science progresse lorsqu'on veut étendre le champ d'action d'un paradigme et que celui-ci rencontre des difficultés, il faut alors le remplacer. Mais en réalité, ils ont esquivé le problème de fond ou tout au plus l'on abordé superficiellement. Kuhn dit que le paradigme est mis en difficulté lorsque certaines énigmes lui résistent. Il n'a pas eu la présence d'esprit, il n'a pas poussé son analyse plus loin. Car s'il l'avait fait, il serait arrivé à analyser la structure de la matière, nous voulons dire la nature du réel. La physique quantique nous donne de comprendre que le réel s'idéalise, il n'est constitué que de propriétés. C'est pourquoi il est

¹³⁸ *Ibid.*, p. 130.

¹³⁹ *Ibid.*, pp. 157-158.

¹⁴⁰ *Ibid.*, p. 158.

dynamique, non-inerte et donc doué de mouvement. Ce réel est constitué d'une infinité de niveaux chacun de nature différente. Le niveau moléculaire est de nature différente de celui atomique, celui atomique différent du niveau du noyau, celui du noyau différent du niveau des hadrons, celui des hadrons différent de celui des quarks... Heinz Pagels note que « *ce bazar de la réalité comporte de nombreuses échoppes, et chacune d'elle est tenue par un marchand qui veut nous vendre sa propre vision de la réalité physique* ».¹⁴¹ En approfondissant leurs recherches « *les physiciens ont découvert un cosmos à l'intérieur de la matière* »¹⁴². Ce cosmos est gouverné par un hasard à nul autre pareil : « *il n'y a pas de hasard comparable au hasard quantique* »¹⁴³. Si certains hasards peuvent être contournés ou vaincus, « *le hasard véritable est imbattable (...) le hasard quantique ne peut être battu ; le Dieu qui joue aux dés ne triche jamais* »¹⁴⁴. Dans ce désordre total, ce chaos, ce tohu bohu, c'est l'indéterminisme qui est scientifiquement soutenable. Dans ce cosmos, on n'avance qu'avec des lois de probabilité. Non pas des probabilités simples, mais la « distribution des probabilités ».

« Nous avons déjà vu que, dans le monde microscopique des atomes, c'est la distribution des événements qui est spécifiée par la théorie quantique, et non pas les événements individuels eux-mêmes. Les distributions de probabilité quantique, qui sont les mains invisibles du niveau atomique, sont les vraies responsables des forces chimiques qui lient les atomes les uns aux autres »¹⁴⁵.

Mais avant d'aller plus loin, il convient d'abord de définir le groupe de mots distributions des probabilités. En mathématiques, notamment en variable aléatoire, « *une distribution des probabilités est un tableau ou une condition qui relie chaque résultat d'une analyse mesurable à sa probabilité d'occurrence* »¹⁴⁶. Ce qui est impressionnant c'est que, dans ce désordre total, la notion d'objectivité change de caractère. On passe de « l'objectivité forte » à « l'objectivité faible ». En effet, dans la physique classique, l'objectivité se concevait comme une « objectivité forte ». Bernard d'Espagnat, dans son ouvrage *Traité de physique et de philosophie*, nous enseigne que :

« Un énoncé scientifique est objectif si sa formulation ne fait intervenir que les objets mêmes sur lesquels il porte, sans aucune référence au sujet qui connaît, ou acquiert, ou vérifiera son contenu. Nous conviendrons de dire de tels énoncés qu'ils sont objectifs au sens fort, ou – mieux – interprétables en termes d'objectivité forte »¹⁴⁷.

¹⁴¹ H. Pagels, *L'univers quantique*, p. 176.

¹⁴² *Ibid.*, p. 207.

¹⁴³ *Ibid.*, p. 86.

¹⁴⁴ *Ibid.*, p. 111.

¹⁴⁵ *Ibid.*, p. 113.

¹⁴⁶ [Hts://datascience.eu](https://datascience.eu) > qu'est-ce qu'une distribution des probabilités.

¹⁴⁷ B. d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, Paris, Fayard, 2002, p. 110.

En physique classique, il y avait une sorte de neutralité du sujet connaissant ou du sujet expérimentant ou expérimentateur par rapport à son objet d'étude. Or, en physique quantique, c'est l'objectivité faible qui règne en maître. Que nous enseigne Bernard d'Espagnat à ce niveau ? Il nous apprend que :

« Un énoncé est objectif si sa valeur de vérité est la même pour n'importe qui : s'il est vrai pour n'importe qui ou faux pour n'importe qui. Nous dirons de tels énoncés qu'ils sont objectifs au sens faible. Un énoncé est dit à objectivité faible, quand il met la notion d'observateur en jeu mais se pose lui-même comme vrai pour n'importe quel observateur »¹⁴⁸.

En physique quantique, le sujet et même l'instrument de mesure ne sont pas neutres. En effet, au niveau de l'infiniment petit, il devient impossible de dissocier ce qui appartient naturellement au phénomène et l'influence du sujet et de l'instrument, de sorte que la neutralité du sujet et celle de l'instrument se perd : on parle alors « d'objectivité faible ». Robert Blanché fait remarquer qu'au niveau quantique,

« On ne peut plus espérer atténuer indéfiniment la perturbation qu'introduit, dans toute observation, l'action de l'appareil sur le phénomène observé. A partir d'un certain degré de petitesse, il devient donc impossible de dissocier, dans le résultat d'une expérience, ce qui revient au phénomène et ce qui revient à l'appareillage expérimental ; de sorte que la notion d'un phénomène objectif, c'est-à-dire totalement indépendant des conditions dans lesquelles on observe, se perd »¹⁴⁹.

Ainsi, l'instrument et le sujet ont une part importante dans la construction de la « vérité » au niveau quantique. Selon Bernard d'Espagnat, c'est cette objectivité faible qui distingue la physique quantique de la physique classique. Dans *Traité de physique et de philosophie*, il souligne en effet :

« La plupart des personnes ayant quelques rudiments de physique tendent à penser que ce qui, plus que tout, distingue la mécanique quantique de la classique c'est son caractère intrinsèquement indéterministe, contrastant avec celui, fondamentalement déterministe, de l'ancienne physique classique. Et nombre d'entre elles sont confortées dans cette idée par la fameuse boutade 'le Bon Dieu ne joue pas aux dés' dont Einstein se servit un jour pour exprimer la répulsion que cette nouvelle approche des phénomènes lui inspirait »¹⁵⁰.

Nous voulons donc dire que dans un chaos non-inerte doué de mouvement, c'est véritablement le hasard et le tâtonnement, qui nous donnent d'avoir une objectivité faible, qui sont les véritables fondements des progrès scientifiques. Le hasard et le tâtonnement nous commandent un perfectionnement constant des instruments au moyen desquels nous sondons le réel. Chaque

¹⁴⁸ *Ibid.*, pp. 110-111.

¹⁴⁹ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 285.

¹⁵⁰ B. d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, p. 365.

résultat « sondage » est une vérité provisoire car il n'y a pas de précision au niveau quantique. Et chaque résultat du sondage nous donne une nouvelle vision du réel.

Au terme de ce chapitre, nous retiendrons que nous n'avons pas de définition claire du hasard, mais c'est pourtant lui qui gouverne l'univers quantique. L'univers quantique relève ainsi des lois de probabilité. Non des probabilités simples, mais des distributions de probabilités. Le tâtonnement est intrinsèquement lié au hasard. Mais il convient de noter que, si le hasard est dans les faits, le tâtonnement est dans l'esprit du chercheur. Tout au long de ce chapitre, nous avons tenu à démontrer trois choses. Premièrement, c'est le hasard et le tâtonnement qui sont source de crédibilité de la falsifiabilité des théories scientifiques. Secondement, nous avons démontré que le hasard et le tâtonnement constituent une réelle source de rejet du dogmatisme scientifique sur toutes ses formes. Car si admettons que le réel est dynamique, donc un lieu où règne le hasard, le chaos, cela veut dire que nous voyons partiellement les choses, parfois nous les voyons mal. Conséquence, notre esprit se met à tâtonner. Troisièmement enfin, nous avons prouvé que le hasard et le tâtonnement sont fondateurs des progrès scientifiques. Car ce sont eux qui nous poussent tout le temps à la conquête et à l'exploration du réel, pour en tirer des informations et les leçons meilleures que celles que nous avions auparavant. C'est la science fondée sur le hasard et le tâtonnement qui est de nos jours la plus importante et la plus crédible comme l'affirme Marquis de Laplace : « *il est remarquable qu'une science qui débuta par l'étude des jeux de hasard dût devenir le plus important objet de la connaissance humaine* »¹⁵¹.

¹⁵¹ Marquis de Laplace, cité par H. Pagels, in *L'univers quantique des quarks aux étoiles*, p. 101.

**DEUXIEME PARTIE : INTERROGATIONS SUR LA CREDIBILITE D'UNE
SCIENCE OUVERTE AU HASARD ET AU TATONNEMENT**

La partie que nous nous préparons à exposer consistera à nous interroger sur la crédibilité d'une science ouverte au hasard et au tâtonnement. La découverte des quanta en 1900 par Max Planck était une révolution dans sa plus haute expression. Cette révolution va bouleverser radicalement notre façon de concevoir et de comprendre le réel. Celui-ci va se présenter à nous de façon nouvelle, avec de nouvelles propriétés. A cause de l'indéterminisme qui gouverne le monde quantique, le rationalisme va devoir se réformer en profondeur. Rendre compte du monde quantique va nécessiter de nouveaux outils intellectuels : de nouveaux concepts, une nouvelle logique. Même la métaphysique sera ébranlée. Car la révolution quantique va perturber la réalité ontologique. Il s'agira donc fondamentalement pour nous de démontrer premièrement que, l'indéterminisme a une incidence sur la perception ontologique du réel, deuxièmement que, pour comprendre le réel qui se dérobe à cause de la dualité onde-corpuscule, il va falloir reconsidérer l'imaginaire d'où la non constance de la rationalité scientifique, et troisièmement enfin qu'il est urgent de comprendre qu'il y a complémentarité entre concepts physique et le hasard.

CHAPITRE IV : LA REVOLUTION QUANTIQUE : UNE PERTURBATION DE LA REALITE ONTOLOGIQUE

Vers la fin du XIX^{ème} siècle, les vicissitudes de la physique, notamment l'électromagnétisme du physicien écossais James Clerk Maxwell, commencèrent à porter des coups sérieux et significatifs au dogmatisme scientiste. De sorte que, par cette révolution apparente ou partielle de Maxwell, le XIX^{ème} siècle fut qualifié de « siècle de Maxwell » par de nombreux physiciens. A la suite de Maxwell, et ce au début du XX^{ème} siècle, la mécanique relativiste d'Albert Einstein fondée sur la relativité restreinte et la relativité générale ébranlait déjà notre monde familier sur les notions d'espace et de temps au point où, elle avait également été qualifiée de révolution par de nombreux scientifiques. Mais en réalité,

« Cette révolution n'atteignait encore que l'enveloppe extérieure, si l'on peut dire de la raison, sa couche la plus superficielle, les formes de l'intuition sensible. La théorie ne touchait en rien aux principes de l'entendement, satisfaisant au mieux, au contraire, à ses exigences de détermination et d'invariance. C'est pourquoi elle allait bientôt apparaître comme le parachèvement de la mécanique classique... »¹⁵².

La révolution à proprement parler, celle qui va porter de véritables coups, et qui va mettre fin à ce dogmatisme et à la physique classique, allait arriver par la découverte de la physique quantique au début du XX^{ème} siècle. Robert Blanché, dans son ouvrage *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, note que :

« Si les vicissitudes de la physique et la critique épistémologique avaient, à la fin du XIX^e siècle, ébranlé le dogmatisme scientiste, des coups beaucoup plus sérieux allaient lui être portés par les révolutions scientifiques qui se succédèrent, à une allure précipitée, au début du XX^e siècle. Il ne s'agit plus seulement de réviser telles ou telles lois qu'on pouvait croire acquises pour toujours, d'abandonner telles ou telles théories dont les assises expérimentales semblaient assez assurées pour résister à toute attaque ultérieure. Ce qui était mis en question, c'étaient des principes vraiment fondamentaux... »¹⁵³.

Qualifiée de véritable révolution, la physique quantique va bouleverser de façon radicale et décisive notre regard sur le monde. Elle nous impose d'abandonner nos habitudes et même les concepts familiers considérés comme des acquis définitifs au niveau physique et au niveau ontologico-métaphysique. En effet, par l'avènement de la mécanique quantique,

« Ce n'était pas seulement nos notions usuelles d'espace et de temps qui étaient remises en question, mais des notions de caractère franchement intellectuel, des principes liés

¹⁵² R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 51.

¹⁵³ R. Blanché, *La méthode expérimentale et philosophie de la physique*, p. 261.

aux catégories de cause et de substance. Et même, des principes purement logiques, comme ceux d'identité et de contradiction, paraissaient quelque peu bousculés »¹⁵⁴.

Tout au long de ce chapitre, nous tenterons de démontrer trois choses fondamentales : premièrement, que la découverte de l'univers quantique était déjà une amorce de l'ère de l'indéterminisme. Secondement, montrer l'incidence de l'indéterminisme sur la perception ontologique du réel. Et enfin, prouver que l'ère de l'indéterminisme vient canoniser le caractère approximatif des vérités scientifiques.

I- DES QUANTA : UNE AMORCE DE L'INDETERMINISME

Avec la découverte des quanta en 1900 par Max Planck, l'une des bases conceptuelles de la science classique qu'est le déterminisme se trouva en difficulté. Car l'avènement de la physique quantique annonçait l'irruption de l'aléatoire, du hasard en science. En effet, un quantum présente tantôt un aspect corpusculaire, tantôt un aspect ondulatoire ; et les deux aspects ne s'observent pas simultanément. Pour certains scientifiques, les particules ne sont ni ondes ni des corpuscules. Etienne Klein soutient avec fermeté :

« Ils ne sont donc pas de simples corpuscules, puisqu'ils forment des interférences lorsqu'ils arrivent en grand nombre. Ils ne sont pas non plus des ondes pures, puisqu'ils sont individuellement détectés comme de petites taches. Un objet peut-il n'être ni une onde ni un corpuscule, le « contraire » d'une onde ? Redisons-le : toutes les particules, qu'elles soient de lumière ou de matière, manifestent tantôt des aspects ondulatoires, tantôt des aspects corpusculaires, mais elles ne sont ni des ondes ni des particules. Comment rendre compte de cette ambiguïté phénoménale ? »¹⁵⁵

Voilà un problème nouveau que les scientifiques devaient résoudre. Car cette ambiguïté ne se rencontrait pas dans la physique classique. Les savants devaient se remettre à l'école de cette nouvelle découverte qui vient bousculer le déterminisme classique. La découverte de l'univers quantique scandalisait même les scientifiques les plus éminents. Ce scandale se justifie par le fait que, depuis des siècles, devrions nous dire des millénaires, les registres mentaux étaient forgés ou façonnés pour la compréhension des faits déterministes. Le déterminisme était comme une vérité éternelle et immuable. Cette découverte scandaleuse avait déconcerté et divisé les scientifiques :

« En présence d'innovations aussi scandaleuses, les savants se sont bientôt trouvés répartis en deux camps : les uns s'efforçant d'interpréter les faits déconcertants en demeurant dans les cadres de pensée classiques, les autres au contraire demandant à

¹⁵⁴ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 51.

¹⁵⁵ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, pp. 26-159.

l'esprit d'opérer une véritable mutation, de briser avec ses vieilles habitudes et de se créer des instruments intellectuels originaux, spécifiquement adaptés à un genre d'expérience absolument neuf »¹⁵⁶.

C'est vers ceux qui avaient demandé la mutation, le changement de paradigme que nous voulons nous tourner. Car, se sont eux qui vont amorcer la longue et périlleuse marche du « pays d'Egypte » qu'est le déterminisme vers la « terre promise » qu'est l'indéterminisme.

« Les physiciens de la première moitié du XX^e siècle ne tardèrent pas à comprendre que, pour décrire les atomes puis les particules, il leur faudrait abandonner quelques-uns des principes les mieux ancrés de la physique classique et de mettre entre parenthèses d'illustres credo »¹⁵⁷.

Les images « pays d'Egypte » et « terre promise » sont choisies ici pour illustrer à quel point la rupture est radicale, on ne célébrera plus Amon Rê (le déterminisme où dieu ne joue pas aux dés) mais désormais le Dieu d'Israël (l'indéterminisme où dieu joue aux dés). Il y a changement de credo, changement de paradigme et les deux paradigmes sont incommensurables. Les nouveaux scientifiques, ceux qui ont accepté la révolution, vont se lancer dans un vaste travail de réforme et de refonte de tout l'édifice scientifique. Il faut un langage nouveau, un formalisme nouveau et des instruments nouveaux pour rendre compte des particules qui ne se laissent pas facilement apprivoiser. Les innovations doivent intégrer le fait que, l'univers quantique est incontrôlable et aléatoire. Les probabilités et les statistiques viennent avec force pour rendre compte des quanta. La découverte des quanta inaugure une nouvelle ère en science : l'ère de l'indéterminisme. L'indéterminisme va ébranler tout le confort déterministe sur lequel reposait toute la science classique. Encore plus, la physique quantique va rompre avec la culture classique de l'intuition et des images, elle est constamment en contradiction avec nos représentations familières. Etienne Klein note à cet effet :

« Fascinant (ou agaçant, c'est selon), parce qu'il impose une rupture franche aussi bien qu'avec l'intuition qu'avec les images simples. Refusant de prendre modèle sur nos représentations concrètes, il fait son miel d'entités très abstraites qui outragent notre « robuste » sens de la réalité. Et, aux portes de l'atome, des notions apparemment indiscutables viennent à manquer de signification, un certain sens commun se trouve condamné au dépôt de bilan et des idées évidentes au point de sembler refléter la vérité se révèlent de simples traces, en notre esprit, d'expériences de la vie courante »¹⁵⁸.

La physique quantique vient bouleverser la conception classique de la mesure. En effet, en physique classique, la mesure était objective et précise car l'instrument était neutre. Mais avec l'avènement de la physique quantique, il est difficile voire impossible de connaître un

¹⁵⁶ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 54.

¹⁵⁷ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, p. 10.

¹⁵⁸ *Idem*.

phénomène quantique de façon neutre. Il y a toujours l'influence de l'instrument de mesure, de sorte que les mesures ne sont plus objectives. Ce sont désormais de véritables approximations, fruit de tâtonnement. Ce qui constitue en soi un problème. Dominique Lecourt fait remarquer qu'

« Il existe en physique quantique un problème majeur, explicitement désigné comme tel, et non encore résolu, « le problème de la mesure ». Très schématiquement, ce problème vient de ce qu'en physique, l'instrument de mesure interagit avec l'objet sur lequel on veut faire une mesure, ce qui « fausse la mesure » (...) L'interaction de l'objet (microscopique) avec l'instrument de mesure nécessairement macroscopique et donc soumis aux lois de la physique classique, est énorme »¹⁵⁹.

Cet état de chose fait la notion de mesure exacte se perd et on entre dans le domaine de l'indéterminisme, de l'incertitude. L'indéterminisme devient, avec l'avènement de la physique quantique, l'une des bases conceptuelles de la physique de notre temps. Cet indéterminisme, qui fait appel au hasard et aux lois de probabilité, va bouleverser le confort intellectuel déterministe dans lequel nous étions installés jusqu'ici.

II- L'INCIDENCE DE L'INDETERMINISME SUR LA PERCEPTION ONTOLOGIQUE DU REEL

Notons d'emblée que la conception déterministe du réel était fondée sur une certaine ontologie. Une ontologie aristotélicienne quelque peu modifiée par moment pendant les siècles, par les médiévaux, par Descartes entre autres, mais qui conservait toutes les bases aristotéliciennes. C'est cette ontologie qui était encore en vigueur à la naissance de la physique quantique. Notons à toutes fins utiles que :

« L'ontologie est la partie de la philosophie qui spéculé sur « l'être en tant qu'être, selon l'expression d'Aristote : Est quaedam scientia quae contemplatur ens quaternus ens est, hoc est, in quantum communem quamdam intelligitur habere naturam...[quae]omnibus et singulis entibus suo modo inest. Ea vulgo metaphysica, sed aptius ontologia vel scientia catholica et philosophia universalis nominatur (...) Etude ou connaissance de ce que sont les choses en elles-mêmes, en tant que substances, au sens cartésien et Leibnizien du mot, par opposition à l'étude de leurs apparences ou de leurs attributs »¹⁶⁰.

Dans cette ontologie aristotélicienne, l'être est stable et immuable et l'étude de l'être est plus importante selon Aristote : *« mais s'il existe une substance immobile, la science de cette*

¹⁵⁹ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 736.

¹⁶⁰ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, pp. 714-715.

substance doit être antérieure et doit être la philosophie première »¹⁶¹. Dans cette métaphysique, la notion de substance était quasiment éternelle : on a alors parlé du principe de permanence. Avec Robert Blanché, nous apprenons que :

« La notion de substance unit intimement deux idées : celle d'un substrat qui soutient les phénomènes et qui serait, au niveau le plus profond de l'être, la réalité dernière (sub) ; et celle de la permanence de ce substrat sous le changement incessant des phénomènes (stare). Ce principe de la permanence de la substance se relie étroitement à celui de causalité : rien ne peut naître de rien, une création ex nihilo est inconcevable comme un fait sans cause ; et si rien ne se crée, rien non plus, pour des raisons de symétrie, ne se perd »¹⁶².

Or avec l'avènement de la physique quantique, ces attributs à savoir l'immutabilité et la stabilité, de permanence seront remis en cause. En effet,

« La mécanique quantique ne fait qu'accentuer cette désubstantialisation de l'univers physique. Comment en effet une même substance pourrait-elle réunir deux ensembles de propriétés opposées, s'étendre dans l'espace comme une onde et se localiser en un point comme un corpuscule – ou du moins revêtir alternativement l'une ou l'autre de ces deux apparences selon l'appareillage arbitrairement choisi par l'expérimentateur ? »¹⁶³.

Comme nous l'avons démontré dans les chapitres précédents, les profondeurs du réel sont constituées de nombreuses échoppes, et chacune d'elle est tenue par un marchand qui veut nous vendre sa propre vision de la réalité physique. Plus encore, ce réel a pour éléments fondamentaux le hasard et le mouvement. Nous disons donc qu'au cœur du réel, ou si l'on veut dans les profondeurs du réel, on ne saurait envisager une immutabilité et un immobilisme : la dualité onde-corpuscule nous l'en empêche. Le hasard et le mouvement, inhérents de la dualité onde-corpuscule, font que « les attributs de la chose substantielle, res, leur sont progressivement retirées »¹⁶⁴. La conséquence est que le réel repose sur un fond d'irréalité ; l'infrastructure du monde macrophysique n'a qu'une « existence fantomatique », sa réalité « se dissout dans la pénombre ». »¹⁶⁵. La conséquence c'est que :

« L'atome ne peut être symbolisé que par une équation différentielle partielle dans un espace abstrait multidimensionnel... Aucune propriété matérielle ne saurait lui être directement attribuée. Le corpuscule a cessé d'être un substrat porteur de qualités, il est devenu un système d'équations – quatre dans le cas d'un électron. Les particules élémentaires doivent maintenant être conçues comme de simples structures, sans substance sous-jacente. Ainsi, les corpuscules n'ont pas seulement perdu toutes leurs

¹⁶¹ Aristote, cité par Daniel Pimbe, *Métaphysique*, E, 1, d'Aristote, dans <https://www.daniel-pimbe.com>.

¹⁶² R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 68.

¹⁶³ *Ibid.*, pp. 69-70.

¹⁶⁴ *Ibid.*, p. 53.

¹⁶⁵ *Idem.*

qualités concrètes pour se réduire à des structures mathématiques ; ils ont également perdu leur individualité »¹⁶⁶.

Ce qu'il faut comprendre c'est que, avec la physique quantique, l'immobilisme cède la place au mobilisme et l'immutabilité cède la place au changement. L'ontologie du réel est donc à proprement parler une ontologie de l'irréalité, une « ontologie de la fiction ». Car les quanta sont constamment en mouvement et changent constamment d'aspect. Dominique Lecourt fait remarquer qu'à l'échelle quantique, « *la nature s'y présente comme l'ensemble coordonné de mouvements de corps matériels* »¹⁶⁷ et que cet état de « *mouvement ne peut, par principe, être déterminé ni quant au lieu, ni quant à la grandeur du mouvement* »¹⁶⁸. La nouvelle ontologie, celle qui sied avec le réel est l'ontologie fondée sur le mouvement et le changement constant. En admettant que ce qui existe est mouvement et changement, deux questions très importantes et de natures différentes taraudent à présent notre esprit : « *que signifie observer la matière ? Ce qui existe peut-il être connu tel qu'il est ?* »¹⁶⁹. La première question est de nature métaphysique et la deuxième de nature épistémologique.

Pour répondre à la première question, il serait nécessaire de définir le concept observation, de lever un pan de voile sur les controverses que ce concept a engendré au fil de l'évolution de la physique. L'observation est une « *activité consistant à examiner les faits soit avec nos seuls sens, soit en s'aidant d'instruments spécialisés* »¹⁷⁰. Notons que l'observation fondée sur les sens est peu fiable car les sens peuvent se tromper. Il est convenable et scientifique de fonder son observation sur les instruments spécialisés lesquels sont plus ou moins fiables. Après le perfectionnement de la lunette par Galilée en 1609, un principe scientifique avait été établi : lorsque l'instrument a parlé, le sens se tait. Mais il faut noter que :

« Au sens scientifique et épistémologique, l'observation a un statut controversé. La science classique (des XVII^e et XVIII^e siècles) voit dans l'observation la garantie de l'objectivité scientifique : elle permet d'établir les faits, donc de ne pas construire de théorie qui leur soit contraire, à condition de ne pas modifier ni interpréter les faits observés. Il est possible, en ce sens, de distinguer l'observation simple, qui se borne à enregistrer les faits, et l'expérience, « observation provoquée » (Claude Bernard), où nous interrogeons la nature en modifiant volontairement et artificiellement les phénomènes »¹⁷¹.

Avec l'avènement de la physique quantique, l'observation a beaucoup évolué à cause de la particularité des particules quantiques. La physique quantique nous enseigne que les

¹⁶⁶ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, pp. 72-73.

¹⁶⁷ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 950.

¹⁶⁸ *Idem*.

¹⁶⁹ L. Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, p. 65.

¹⁷⁰ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 325.

¹⁷¹ *Idem*.

observations neutres n'ont aucun sens, elles sont tout simplement non scientifiques. Ainsi, comme l'indique bien Laurence Hansen-Love,

« Mais cette idée de l'observation est aujourd'hui remise en cause. D'une part, la différence entre observation et expérience tend à s'estomper au fur et à mesure que la technologie scientifique se perfectionne. D'autre part, la philosophie contemporaine des sciences a mis en évidence l'impossibilité d'une observation brute ou pure non-pénétrée d'interprétations. Nos observations spontanées sont généralement orientées par nos convictions et nos opinions. L'observation scientifique tend à maîtriser cette subjectivité mais ne lui substitue pas une observation neutre : elle remplace les interprétations personnelles par des interprétations théoriques. L'observation est en science le meilleur moyen de confirmer une théorie, mais les faits observés ne sont intelligibles, et même parfois (comme en physique microscopique, par exemple) observables, qu'en fonction de théories existantes et d'appareils scientifiques qui sont eux-mêmes des « théories matérialisées ». »¹⁷².

Si l'observation du réel change radicalement avec la physique quantique, logiquement nous changeons aussi d'ontologie. Quelle ontologie pouvons-nous appliquer à la structure dynamique du réel dès lors que l'ontologie ancienne ou primitive se trouve caduque et limitée ? En d'autres termes, quelle ontologie appliquer à un réel dynamique où la localité a cédé la place à la non-localité ? Nous allons la nommer l'ontologie du mouvement, puisque nous avons démontré dans les chapitres précédents que le mouvement est consubstantiel à la matière ou au réel. Tout d'abord,

« il convient de faire une distinction entre l'ontologie primitive et la structure dynamique d'une théorie physique. L'ontologie primitive est ce qui, selon la théorie, existe simplement dans le monde, tandis que la structure dynamique est introduite sous la forme de sa fonction pour l'évolution de l'ontologie primitive »¹⁷³.

Faire une ontologie du mouvement revient, à proprement parler, faire de la méta-interprétation, celle qui diffère de l'interprétation classique. Puisque l'observation, comme nous venons de le voir a radicalement changé avec la physique quantique, l'interprétation du même coup change aussi radicalement. Mais qu'est-ce que l'interprétation ? Dans le *dictionnaire Robert*, l'interprétation se définit comme l' « action d'expliquer, de révéler la signification d'une chose obscure ; son résultat »¹⁷⁴. En science, il ne peut y avoir de connaissance ou de savoir sans

¹⁷² *Idem.*

¹⁵⁹ M. Esfeld, *Philosophie des sciences*, p. 149.

¹⁶⁰ Le Robert illustré, op.cit, p994.

¹⁶¹ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 234.

interprétation. « *Interpréter c'est comprendre de façon nouvelle et différente à chaque instant* »¹⁷⁵. C'est dire qu'en physique quantique, des interprétations réalisées sur un même phénomène (et dans les mêmes conditions) donnent des résultats différents. Ainsi, l'ontologie du mouvement devient une ontologie de l'interprétation. Dans l'histoire récente de la physique quantique, nous avons l'interprétation de Copenhague et l'interprétation d'Einstein. Entre ces deux interprétations, il y a eu des débats houleux et passionnés. Comme le souligne Robert Blanché,

*« En présence d'innovations aussi scandaleuses, les savants se sont bientôt trouvés répartis en deux camps : les uns s'efforçant d'interpréter les faits déconcertants en demeurant dans les cadres de pensée classiques, les autres au contraire demandant à l'esprit d'opérer une véritable mutation, de briser avec ses vieilles habitudes et de créer des instruments intellectuels originaux, spécifiquement adaptés à un genre d'expérience absolument neuf »*¹⁷⁶.

La physique quantique lançait un défi intellectuel aux savants. Celle-ci laissait transparaître des énigmes. La position d'Einstein, était celle selon laquelle on devait interpréter la physique quantique dans les cadres de pensée classiques. L'interprétation de Copenhague, représentée par Niels Bohr soutenait de son côté l'urgence d'instruments intellectuels nouveaux. Etienne Klein note que :

*« Il eut toujours deux tendances principales dans l'interprétation de la physique quantique, sous les égides respectives de Bohr et d'Einstein. Leur opposition peut être réduite à une divergence sur une unique question : la physique quantique est-elle complète ? Le vecteur d'état dit-il tout ce qu'il est possible de savoir à propos d'un système physique ou bien lui manque-t-il quelque chose ? Les autres questions controversées se réduisent toutes à cette question fondamentale de la complétude, et cela n'est guère étonnant : les attributs qu'on est en droit d'accorder au réel ne sont en effet pas les mêmes selon que l'on considère la physique comme complète ou comme incomplète »*¹⁷⁷.

Ce que l'on peut dire c'est que, la physique quantique peut s'apparenter à ce que Bohr et Heisenberg ont pensé. Avec le mouvement et la discontinuité inhérents à la matière, l'ontologie classique fondée sur la stabilité et l'immutabilité ne peut pas lui être appliquée. La physique quantique exige une nouvelle ontologie, de nouveaux concepts. Rendre intelligible l'univers quantique n'est pas une entreprise facile. Comme nous l'avons démontré plus haut, c'est un univers qui nous impose beaucoup de finesse au niveau des instruments et du langage. Ludovic Bot fait remarquer que :

¹⁷⁶ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 54.

¹⁷⁷ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, p. 144.

« L'explication de la nature quantique de la matière est l'une des grandes avancées scientifiques du vingtième siècle. Le comprendre en termes intelligibles et en tirer toutes les conséquences quant à la façon dont nous pouvons nous représenter notre monde reste encore aujourd'hui l'un des thèmes les plus importants de la philosophie des sciences contemporaine. Ce sera notre premier travail, probablement le plus difficile, mais de grande importance pour la suite car il nous permettra de comprendre comment la notion de connaissance in-vivo s'impose aujourd'hui dans les sciences de la matière à partir de la physique quantique »¹⁷⁸.

La réelle perception du réel nous impose de conjuguer avec le monde quantique et l'indéterminisme qui le caractérise. Le monde quantique c'est le monde *in-vivo* du réel, un monde sans frontières certaines. Le terme *in-vivo* employé par Ludovic Bot dans son ouvrage *Philosophie des sciences de la matière* est très significatif. A partir de ce terme, il voudrait nous faire comprendre que, la réalité de la matière ne se trouve pas dans sa dimension macroscopique, mais davantage dans sa dimension microscopique, nous voulons dire quantique. C'est ce qui fait dire à Bernard d'Espagnat que : *« en théorie des champs quantiques, la réalité est à un niveau plus profond que celui où la voit le sens commun et également la mécanique quantique élémentaire »¹⁷⁹*. Il devient nécessaire, voir impératif d'aller dans les profondeurs de la matière pour la comprendre. Les physiciens s'accordent aujourd'hui à dire que, la dimension macroscopique du réel n'a qu'une existence fantomatique. Bernard d'Espagnat parle de *la diversion macroscopique*. Aller dans le domaine quantique pose deux problèmes : un problème d'interprétation et un problème de vocabulaire. Car il s'agit pour le savant, comme nous l'avons noté plus haut, de rompre radicalement avec l'ancienne tradition qui était fondée sur la dimension macroscopique. L'indéterminisme quantique n'est pas encore bien cerné et cela nous oblige encore à utiliser le langage ancien. Ludovic Bot note encore que :

« Derrière l'ambition de comprendre ce que dit la physique quantique de la matière, se cachent de délicates questions de vocabulaire. Si les physiciens et les chimistes parlent encore de particules ou d'atomes, et vulgarisent leur discipline sur la base d'une vision de la matière qui reste corpusculaire, dans un vocabulaire presque directement inspiré de l'atomisme de Démocrite et encore très proche du vocabulaire de la physique du dix-neuvième siècle, ce n'est pas seulement pour des raisons pratiques, c'est aussi parce que notre langage ordinaire est encore incapable de parler le quantique de façon cohérente »¹⁸⁰.

Or pour parler de la physique quantique, il est nécessaire de prendre en compte la fonction d'onde. Ne s'en tenir qu'à la partie corpusculaire nous fait demeurer dans la physique classique, donc dans l'ontologie classique. Cette ontologie classique décrivait le réel à partir de l'équation de Newton, selon laquelle, une particule est décrite par sa position(r) en fonction du temps(t).

¹⁷⁸ Ludovic Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, p. 35.

¹⁷⁹ Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, pp. 98-99.

¹⁸⁰ Ludovic Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, p. 40.

Ainsi, $m \frac{d^2r}{dt^2} = F(r, t)$. Par conséquent, notre perception du réel était erronée. Or, nous devons donc retenir que :

« Le concept de base utilisé par la physique quantique pour décrire un système matériel n'est pas, comme pour la partie corpusculaire de la physique classique, la trajectoire des particules qui constituent le système. Le concept central est celui, plus abstrait, de fonction d'onde, ou encore de champ quantique. La fonction d'onde d'un système physique est la solution d'une équation, dite équation de Schrödinger, qui décrit le système en question à partir de la connaissance des interactions entre ses constituants »¹⁸¹.

Cette équation est donnée par la relation : $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(r, t) = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r) \right] \psi(r, t)$ est l'équation de Schrödinger dépendante du temps. On a donc : $h = \text{constante de Planck} = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, ∇^2 est le laplacien, m est la masse de la particule, $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05457 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $V(r)$ est l'énergie potentielle de la particule au point r et $\psi(r, t)$ est la fonction d'onde en fonction du temps (t) au point (r)

On peut aussi avoir $\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(r) \right] \psi(r) = E\psi(r)$ est l'équation de Schrödinger indépendante du temps.

La physique quantique nous donne de comprendre, à partir de l'équation de Schrödinger, que la matière est non localisable et qu'elle ne se conserve pas. Et par conséquent, nous entrons dans une nouvelle ontologie. Donc, Schrödinger a tué Newton. Dans ce cas, c'est l'interprétation de Copenhague qui, à un moment donné fournit une interprétation plausible nous permettant de comprendre la matière. Elle se fonde sur le principe de complémentarité. Pour Bohr les aspects corpusculaires et ondulatoires sont deux aspects complémentaires d'une même réalité. Ils démontrent l'impossibilité d'une description causale des phénomènes quantiques. Ainsi,

« Si nous voulons étudier les lois de la propagation des actions lumineuses dans l'espace et dans le temps, nous sommes réduits, en raison du postulat quantique, à des considérations statistiques. Inversement, en appliquant le principe de causalité aux phénomènes lumineux individuels caractérisés par le quantum d'action, nous renonçons à la connaissance des rapports spatio-temporels. Naturellement, il ne peut jamais être question d'appliquer tout à fait indépendamment soit la description spatio-temporelle, soit le concept de causalité. Bien au contraire, ces deux conceptions de la nature de la lumière constituent deux tentatives différentes d'adaptation des faits expérimentaux à notre forme ordinaire d'intuition, dans lesquelles la limitation des concepts classiques trouve des expressions complémentaires »¹⁸².

¹⁸¹ Ibid., p. 42.

¹⁸² R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, pp. 305-306.

Combattue par Louis de Broglie, cette position de Bohr sera soutenue par Heisenberg qui viendra conforter l'interprétation probabiliste. Cette interprétation de Copenhague a triomphé jusque dans les années soixante. De nos jours, de nouvelles approches nous permettent de comprendre l'incidence de l'indéterminisme dans la perception ontologique du réel. *La théorie de la décohérence* est venue ajouter une pierre à cet édifice d'interprétation et de compréhension du réel.

« Cette théorie tente d'expliquer pourquoi les objets macroscopiques ont un comportement classique, tandis que les objets microscopiques, atomes et autres particules, ont un comportement quantique. En d'autres termes, elle vise à apporter une solution au lancinant paradoxe du chat de Schrödinger, sans doute las d'être quantiquement ballotté entre la vie et la mort depuis 1935. Les équations de la physique quantique impliquent une présence universelle d'états superposés, donc des effets d'interférences(...) La théorie de la décohérence a pour particularité de faire intervenir l'« environnement », constitué de tout ce qui baigne les objets, par exemple l'air dans lequel ils se propagent ou, si l'on fait le vide, le rayonnement ambiant. Elle démontre que c'est leur interaction avec leur environnement (système décrit par un nombre très élevé de degrés de liberté) qui fait très rapidement perdre aux objets macroscopiques leurs propriétés quantiques. Tout se passe comme si des bribes d'informations sur leur état quantique s'échappaient continûment dans leur environnement. Ce dernier agit en somme comme un observateur qui mesurerait les systèmes en permanence, éliminant ainsi toutes les superpositions à l'échelle macroscopique, donc aussi les interférences. Il engendre bien une décohérence »¹⁸³.

Tout compte fait l'interprétation de Copenhague, le chat et l'équation de Schrödinger, l'expérience des fentes et la théorie de la décohérence visent à démontrer que, la perception ontologique classique du réel n'est plus soutenable. Le réel est ontologiquement fondé sur l'indéterminisme, le hasard et le mouvement. C'est là, nous le pensons, la nouvelle base de la métaphysique du réel.

III- DE L'APPROXIMATION DES VERITES SCIENTIFIQUES

Etant donné que nous avons déjà démontré d'une manière générale le caractère approximatif des vérités scientifiques, nous voulons dans cette partie nous attarder sur le problème de la mesure en physique. Nous voulons rappeler ici qu'en science physique, une vérité est une mesure. La physique quantique a révélé un sérieux problème de mesure. La mesure en physique quantique s'avère être très complexe, car elle s'éloigne des paradigmes de mesure classique, pour désormais faire corps avec l'incertitude. C'est le philosophe et physicien

¹⁸³ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, pp. 152-153.

autrichien Erwin Schrödinger qui posa clairement ce problème au travers d'une expérience remarquable mettant en scène un chat. Comme le souligne Ludovic Bot,

« Le problème de la mesure en physique quantique a été exposé de façon spectaculaire par le physicien Erwin Schrödinger dans le cadre d'une expérience de pensée mettant en scène un chat. Même s'il s'agit d'une expérience irréalisable dans la pratique, le raisonnement a le mérite de bien mettre en évidence, sur des phénomènes que nous pensons bien connaître par notre intuition quotidienne, le côté paradoxal, voire même franchement incompréhensible au premier abord, de la situation typique devant laquelle nous met un processus de mesure en physique quantique »¹⁸⁴.

Dans l'expérience quotidienne, nous pensons que mesurer est une entreprise qui va de soi. C'est pourtant un exercice très pénible au niveau quantique. En effet, comment mesurer ce qui est non localisable ? Comment mesurer une réalité qui se dérobe ? Comment mesurer un réel voilé ? Mesurer devient donc une entreprise complexe. Erwin Schrödinger, dans *La théorie de la mesure : première partie*, note que :

« Le renoncement au réalisme entraîne logiquement certaines conséquences. Une variable n'a, en général, pas de valeur déterminée avant que je ne la mesure ; la mesurer ne signifie donc pas trouver la valeur qu'elle a. Mais alors qu'est-ce que cela signifie ? Il doit exister un critère permettant de savoir si une mesure est correcte ou fautive, si une méthode est bonne ou mauvaise, si elle est précise ou imprécise, et si même elle mérite le nom de mesure. Il ne suffit pas de jouer avec un appareil à aiguille à proximité d'un corps et de faire une lecture au hasard pour qu'on puisse parler de mesure relative à ce corps. Une chose est donc assez 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 »¹⁸⁵.

Mesurer signifie tout d'abord connaître la nature de l'objet à mesurer. Ce n'est pas un exercice qui se prête au premier venu. Il nécessite une maîtrise des propriétés physiques et attributs ontologiques de l'objet à mesurer. Plus encore au niveau microscopique, il faut tenir compte de la perturbation qu'induit l'instrument de mesure. Car au niveau microscopique, il n'existe plus de neutralité du sujet ; il y a toujours une interaction entre l'objet mesuré et le sujet mesurant. Les perturbations font qu'il est impossible d'atteindre la précision P voulue, il y a toujours une marge d'erreur ou d'incertitude. Par conséquent, il faut repenser scientifiquement et philosophiquement la notion de phénomène. Au niveau quantique en effet, la notion de phénomène liée à la causalité s'estompe et perd tout son sens. C'est ce qui amène Dominique Lecourt à soutenir qu'

« Il existe en physique quantique un problème majeur, explicitement désigné comme tel, et non encore résolu, « le problème de la mesure ». Très schématiquement, ce problème vient de ce qu'en physique quantique, l'instrument de mesure interagit avec l'objet sur lequel on veut faire une mesure, ce qui « fausse la mesure »(...) Toute mesure digne de

¹⁸⁴ L. Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, p. 66.

¹⁸⁵ E. Schrödinger, *Physique quantique et représentation du monde*, p. 110.

ce nom repose sur l'hypothèse implicite que l'instrument de mesure est infiniment plus sensible que l'objet à mesurer »(...) De là découle tout d'abord qu'il est nécessaire de repenser la notion de phénomène(...) C'est ce que pense Bohr qui, propose d'inclure l'instrument de mesure dans le phénomène »¹⁸⁶.

La notion de phénomène comprise comme donné de l'expérience n'a donc pas tout simplement de sens au niveau quantique. Du fait que l'instrument interagit avec l'objet, conjugué avec l'ultrasensibilité de l'univers quantique, toute mesure devient une approximation. C'est ce qui avait poussé les physiciens à mettre en couple la mesure de grandeur et la notion d'incertitude. Dans le livre de physique au programme en classe de terminales scientifiques au Cameroun, nous apprenons qu'on parle d'erreur de mesure aléatoire « *lorsqu'un même opérateur répète plusieurs fois, dans les mêmes conditions, le mesurage d'une même grandeur, les valeurs mesurées peuvent être aléatoires* »¹⁸⁷. En physique, dans les incertitudes dites composées le résultat d'une mesure est donné par la formule suivante : « *Résultat de mesure = valeur vraie + erreur aléatoire + erreur systématique* »¹⁸⁸. L'erreur systématique étant la prise en compte, dans une mesure unique, de la précision de l'appareil de mesure, son utilisation et la qualité du mesurage. Ainsi donc, le résultat d'une mesure ne peut qu'être qu'une vérité approximative. Mais cette approximation ne veut pas dire fausseté, elle illustre tout simplement le fait que la science moderne, n'est ni certaine ni précise. Elle n'est qu'approximation. Nous allons bien illustrer la relation entre approximation et vérité en science dans les prochains chapitres.

¹⁸⁶ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, pp. 736-737.

¹⁸⁷ Tagni, J., Ango, Y. P., Abéga, F. D., Pountougnigni, A., *Collection Excellence en physique Terminale C,D, et TI*, Yaoundé, NMI.Education, 2021, p. 10-15.

¹⁸⁸ *Idem*.

Au terme de ce chapitre, nous pouvons retenir que la découverte de la physique quantique entraîne une perturbation de la réalité ontologique telle que pensée par la science classique. Elle a changé de façon radicale notre perception de la matière. L'ontologie de la stabilité et de l'immutabilité va céder la place à l'ontologie du mouvement et de l'indéterminisme. Car le mouvement est consubstantiel à la matière. Au cœur du réel, ou si l'on veut dans les profondeurs du réel, on ne saurait envisager une immutabilité et un immobilisme : la dualité onde-corpuscule nous l'en empêche. Cette ontologie du mouvement est en réalité une ontologie de l'interprétation, une ontologie de la décohérence. Car « *L'onde n'est pas une réalité physique, elle exprime seulement l'état de nos connaissances sur le corpuscule auquel on l'associe* »¹⁸⁹. C'est la physique quantique qui nous a révélé ce qu'est la matière. Voilà pourquoi il nous plaît de clôturer notre chapitre avec ces propos d'Erwin Schrödinger :

*« Pendant la seconde moitié du XIX^e siècle la matière semblait être la chose permanente à laquelle nous pouvions nous attacher. Il y avait une certaine masse de matière qui n'avait jamais été créée (pour autant que le physicien pouvait le savoir) et qui ne pourrait jamais être détruite. On pouvait compter sur elle et on avait le sentiment qu'elle était incapable de s'échapper des mains qui la manipulaient. De plus, aux yeux du physicien, cette matière était soumise à des lois rigides qui présidaient à son comportement, à son mouvement – et elle y était soumise dans chacune de ses parties (...) On pouvait prédire son comportement. Toute son évolution future était déterminée de façon rigide par les conditions initiales (...) Au cours du dernier demi-siècle (...) nos conceptions de la matière se sont révélées « beaucoup moins matérialistes » qu'elles ne l'étaient pendant la seconde moitié du XIX^e siècle. Elles sont encore très imparfaites, très imprécises, elles manquent de clarté à bien des égards ; mais on peut dire en tout cas que la matière a cessé d'être cette chose simple, palpable, résistante, qui se meut dans l'espace, dont on peut suivre la trajectoire, dont chaque partie peut être suivie dans son propre mouvement – telle enfin que l'on peut énoncer les lois précises qui en régissent le mouvement »*¹⁹⁰.

¹⁸⁹ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 70.

¹⁹⁰ E. Schrödinger, *Physique quantique et représentation du monde*, pp. 32-33.

CHAPITRE V : HASARD ET TATONNEMENT : DES ATTEINTES SÉRIEUSES A LA RATIONALITÉ SCIENTIFIQUE ?

Le rationalisme est consubstantiel à l'interrogation philosophique, du moins si l'on s'en tient aux travaux des philosophes occidentaux comme Ernest Renan et Emile Bréhier. Car avant la philosophie, on expliquait le monde avec les mythes. Mais à partir du VII^{ème} siècle avant Jésus-Christ, le mythe se trouva limité, le temps était mûr pour qu'une mutation radicale s'opère. Cette mutation avait consisté au passage de la pensée mythique vers la pensée rationnelle : c'est « *le miracle grec* », terme inventé par Ernest Renan pour affirmer que les grecs furent les premiers à utiliser la raison humaine (pensée rationnelle) pour expliquer le monde. On peut donc dire que le rationalisme a commencé avec l'école milésienne et a atteint son apogée dans l'antiquité avec Platon. On appelle donc rationalisme, la « *doctrine d'après laquelle toute connaissance certaine vient de principes irrécusables, a priori, évidents, dont elle est la conséquence nécessaire, et, d'eux seuls, les sens ne pouvant fournir qu'une vue confuse et provisoire de la vérité* »¹⁹¹. Perçue sous l'ancienne ontologie, cette raison était considérée comme immuable et adamique, principe de toute connaissance valide ; et ce, pendant des siècles. Car que ce soit l'ancien rationalisme, que ce soit celui de Descartes, de Leibniz, la raison était perçue comme un réservoir immuable. Robert Blanché l'illustre parfaitement à travers ces propos : « *dans le rationalisme de l'a priori comme dans celui de l'innéité, la raison est censée fixée une fois pour toutes* »¹⁹². Il affirme également que, « *Jusqu'à une époque toute récente a régné presque sans discussion, dans notre civilisation occidentale, la croyance en une raison universelle et immuable, apanage de tout le genre humain et soustraite aux vicissitudes de l'histoire* »¹⁹³. La science née à partir du XX^{ème} siècle, notamment la physique quantique, va remettre en question d'une façon radicale cette idée de la raison, et par extension du rationalisme.

*« Or, c'est cette thèse de l'immutabilité et de l'absolue nécessité des principes directeurs de la connaissance que la science actuelle oblige à mettre en question. C'est surtout par une autre voie que la science contemporaine a ouvert une crise de la raison. Non pas en la prenant comme objet d'une science, mais en l'utilisant comme instrument pour la construction de la science »*¹⁹⁴.

¹⁹¹ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique*, p. 889.

¹⁹² R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 4

¹⁹³ *Ibid.*, p. 1.

¹⁹⁴ *Ibid.*, pp. 5-7.

L'histoire des sciences peut donc être comprise comme l'histoire des crises de la raison. « *On comprend comment ces crises intérieures de la science ont pu être jugées comme des crises de la raison elle-même, et comme des atteintes sérieuses au rationalisme philosophique* »¹⁹⁵ et même scientifique. Tout au long de ce chapitre, nous tenterons de répondre à trois questions fondamentales : y a-t-il une reprise en main de l'imaginaire en science ? Y a-t-il complémentarité entre hasard, tâtonnement et rationalité ? Qu'est-ce qui cause la non-constance de la rationalité scientifique ? La réponse à ces questions constituera le canevas de notre travail.

I- VERS UNE REPRISE EN MAIN DE L'IMAGINAIRE ?

Dans le chapitre précédent, nous avons démontré avec Robert Blanché et Bernard d'Espagnat que le réel repose sur un fond d'irréalité ; l'infrastructure du monde macrophysique n'a qu'une « existence fantomatique », sa réalité « se dissout dans la pénombre ». Parler du monde quantique revient à faire de la fiction, c'est naviguer dans un monde imaginaire. Cela se justifie par le fait que, selon Etienne Klein, les entités quantiques ne sont ni des ondes pures ni des particules pures. Elles présentent tantôt un aspect corpusculaire, tantôt un aspect ondulatoire. Comment expliquer, comment rendre compte, d'une telle ambiguïté phénoménale ? Cette difficulté majeure nous entraîne inexorablement vers une reprise en main de l'imaginaire dont les philosophes et les scientifiques antiques et classiques voulaient s'en débarrasser. Même Gaston Bachelard l'avait considérée comme obstacle épistémologique. Il avait donc un statut de parasite, quelque chose qui encombre et viendrait par ce fait souiller nos « saines pensées logiques ». Tout ceci parce que,

*« Dans l'usage courant, l'imaginaire est défini comme le produit de l'imagination ; est imaginaire ce qui est irréel, fictif. En Occident, une longue tradition a séparé la connaissance scientifique et l'imagination, celle-ci étant considérée comme un facteur d'erreur et de fausseté. Le rationalisme et le positivisme l'ont exclue des procédures intellectuelles légitimes. Au ^{xx}e siècle, pour Bachelard, l'imagination était un obstacle épistémologique et la science devait se défaire de la puissance imaginative pour atteindre une rationalité abstraite »*¹⁹⁶.

Quand on parle d'imaginaire, il y a trois mots qu'on doit forcément rencontrer : l'imaginaire, l'imagination et l'intuition. L'imaginaire est la réalité du monde quantique, on ne saurait donc

¹⁹⁵ *Ibid.*, p8.

¹⁹⁶ S. Catellin et X. Hautbois, « Le rôle de l'imaginaire dans la découverte », *Alliage*, N°70 – Juillet 2012, mis en ligne le 26 septembre 2012, [URL://revel.unice.fr/alliage/index.html?id=4051](http://revel.unice.fr/alliage/index.html?id=4051).

s'en débarrasser. C'est pourquoi Philippe Néricault Destouches avait affirmé que : « *chasser le naturel, il revient au galop* »¹⁹⁷. Mais il faut noter cependant que, bien que combattu, certains scientifiques voyaient déjà en l'imaginaire un catalyseur de la recherche scientifique. En effet, « *Poincaré et Hadamard ont montré que l'imaginaire et l'inconscient jouent un rôle important dans l'invention mathématique, Einstein écrivait qu'il pensait d'abord en images* »¹⁹⁸. L'imaginaire ne saurait donc être banalisé ou méprisé, il n'est plus un obstacle épistémologique puisque « *l'imaginaire des scientifiques détermine leur représentation de l'objet étudié, donc leur méthode et leurs résultats* »¹⁹⁹. En clair, c'est en partie grâce à l'imaginaire que le scientifique conçoit le paradigme à partir duquel il va étudier un objet ou un phénomène. Ainsi, « *l'imaginaire participe de l'élaboration du savoir tout autant qu'il lui fait obstacle, et en ce sens, il est constitutif de la science* »²⁰⁰. La physique quantique, lieu où hasard et tâtonnement règnent en maître, est le domaine par excellence de l'imaginaire. Car les particules quantiques ne se laissent pas facilement apprivoisées. Le scientifique commence toujours ou mieux le plus souvent ses recherches par un récit fictif. A cet effet, nous ne trouvons pas meilleur exemple que celui de Kepler. Kepler est cet astronome qui postulat, par le biais de son imagination, la forme elliptique de l'orbite des planètes et la géographie lunaire. Comme le souligne si bien Sylvie Catellin et Xavier Hautbois,

*« c'est par un récit de science-fiction mêlant rêve et allusions de son enfance, observations scientifiques rigoureuses et hypothèses imaginatives stupéfiantes que l'astronome Kepler raisonne, anticipe les voyages astronautiques, imagine les obstacles au voyage spatial et la géographie lunaire »*²⁰¹.

La puissance de l'imaginaire et son apport dans la construction et l'avancé des sciences vient mettre à nu les limites de la raison qu'on pensait toute puissante, immuable et autosuffisante. Dans le processus de réflexion qui mène à la découverte, la raison et ses lois logiques ne sont pas les seuls instruments. Il faut donc désormais ajouter l'imaginaire. Car en effet,

¹⁹⁷ P. Néricault Destouches, *Le Glorieux, Acte III, Scène 5*, Paris, Librairie des Bibliophiles, 1981, p86.

¹⁹⁸ Sylvie Catellin et Xavier Hautbois, « Le rôle de l'imaginaire dans la découverte »

¹⁹⁹ *Idem.*

¹⁸⁴ *Idem.*

¹⁸⁵ *Idem.*

« L'imaginaire des scientifiques joue pourtant un rôle fondamental, notamment dans les périodes de crise, quand la raison elle-même perd pied. Quelle que soit la définition qu'on en donne, il n'est pas une fumée qui viendrait brouiller le jeu, un feu qui soit égare, trompe, détourne, soit qui ouvre de nouvelles pistes. Quand elle doit avancer ou changer, la science n'avance pas en ne puisant que dans ses fonds propres. Elle a besoin d'autre chose que son seul corpus. Dans ces situations, la méthode et l'imaginaire se conjuguent comme la voile et la dérive d'une embarcation. Chacune d'elles, si on la met en œuvre isolément, ne permet pas d'avancer, mais actionnées ensemble, elles impriment une dynamique de progression »²⁰².

Nous disons donc, contrairement à ce que peut laisser croire de prime abord, le concept imaginaire, il convient de soutenir ici qu'il est incontournable en science. Chercher à l'évacuer ferait perdre à la science l'un des principaux catalyseurs de sa marche et de sa perfection. La physique quantique nous enseigne que la raison seule ne suffit pas pour expliquer et comprendre le réel. Il faut lui adjoindre une autre force qui est l'imaginaire. Car l'univers quantique, qui est irréel, a besoin d'une forte imagination pour rendre compte de son ambiguïté phénoménale.

II- Y A-T-IL UNE COMPLEMENTARITE ENTRE HASARD, TATONNEMENT ET RATIONALITE ?

Comme le souligne Robert Blanché, la science actuelle refuse et réfute la « *thèse de l'immutabilité et de l'absolue nécessité des principes directeurs de la connaissance (...) les révolutions scientifiques contemporaines obligent à réviser ces vues* »²⁰³. Ceci est dû par le fait que, la science actuelle nous oblige à prendre en compte le hasard et le tâtonnement dans la rationalité : car la connaissance du réel n'est jamais complète, claire et précise. Cette nouvelle nature de la science est définitivement séparée du déterminisme ; elle a désormais épousé l'indéterminisme. « *La leçon à en tirer, c'est que le rationalisme des principes doit lui-même être amendé en conséquence* »²⁰⁴. Dans l'univers quantique, on ne voit point comment le rationalisme de Platon, ni celui de Descartes pourrait être valable. Ce rationalisme était dogmatique car reposait sur une raison immuable. Le rationalisme quantique prend en compte le hasard et est lié à la théorie de la *complémentarité* de Niels Bohr.

Niels Bohr est l'un des plus grands fondateurs de la physique quantique. Par ses écrits, il a su remettre en question le déterminisme et l'objectivité en science. Pour lui, le fait que la matière apparaisse tantôt de façon corpusculaire tantôt de façon ondulatoire, ou les deux à la

²⁰² E. Klein, « Science et imaginaire », in *Science et techno*, 01/07/ 2013,

²⁰³ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 5.

²⁰⁴ *Ibid.*, p. 114.

fois, était un mystère (ou mieux une révolution) qui bouleversait les fondements de la science, et plus tard celles de la philosophie. En soutenant que Dieu joue aux dés, il a introduit (avec Heisenberg) le hasard, la probabilité et le tâtonnement en science. C'est donc une façon nouvelle et radicale (par opposition à la science classique) de faire la science. Car le fait que les particules quantiques, présentent tantôt un aspect ondulatoire tantôt un aspect corpusculaire, il devient impossible de rendre compte de cette nouveauté, de cette ambiguïté phénoménale par des concepts classiques. C'est pourquoi Bohr pensait qu'il était indispensable de réformer la philosophie des sciences. Il proposa à cet effet une idée originale et déconcertante : le principe de complémentarité. En physique quantique, des expériences faites sur le comportement d'une particule dans des conditions d'expérience chaque fois bien définies, mais s'excluant mutuellement, peuvent, néanmoins, suivant une terminologie courante en physique quantique, être dites complémentaires : bien qu'il soit impossible de les rassembler en une image unique décrite à l'aide des concepts familiers, elles représentent chacune des aspects également essentiels de tout ce que l'on peut apprendre de ce domaine sur la particule en question. C'est justement en reconnaissant ce caractère complémentaire des analogies mécaniques par lesquelles on essaie de rendre intuitives les diverses actions du rayonnement, que l'on a obtenu une solution entièrement satisfaisante des énigmes qu'on rencontre lorsqu'on veut établir les propriétés de la matière et aussi de la lumière.

Le principe de complémentarité a ouvert une crise en science. Cette crise de la science qui doit se réviser, est aussi une crise de la raison. Car, comme le souligne Robert Blanché, les *« crises intérieures de la science ont pu être jugées comme des crises de la raison elle-même, et comme des atteintes sérieuses au rationalisme philosophique »*²⁰⁵. Cette crise se caractérise par le fait que, le hasard et le tâtonnement font désormais partie de la rationalité scientifique et philosophique. Comment démontrer que le hasard et le tâtonnement font partie de la rationalité ? Notons à toutes fins utiles que cela n'est valable que dans la microphysique, le monde du chaos total où on ne peut rien prévoir. Et comme nous l'avons souligné plus haut, c'est aussi le monde de l'imaginaire. Comment rendre compte d'un monde imaginaire, de désordre total ? Car nous savons avec Heinz Pagels qu'il n'y a pas de hasard comparable au hasard quantique. Donc, s'aventurer dans le monde quantique s'apparente à une épreuve où le talent de la raison se mêle au hasard, au tâtonnement, à la tergiversation et à l'imaginaire. Dans la science classique, on ne pouvait pas parler du principe de complémentarité. Car les physiciens étaient aveuglés par le monde macroscopique et s'intéressaient donc logiquement au seul aspect

²⁰⁵ *Ibid.*, p8.

corpusculaire. La rationalité adossée à cette physique était donc celle fondée sur le déterminisme et son fameux principe de causalité. Or avec la naissance de la physique quantique, il faut désormais tenir compte de l'aspect corpusculaire et de l'aspect ondulatoire. Ainsi donc, le principe de complémentarité né de la dualité onde-corpuscule, nous donne de comprendre que le rationalisme de l'a priori et celui de l'innéité, où la raison est fixée une fois pour toutes, ne sont plus soutenables. Il devient donc urgent de passer vers un autre type de rationalisme. Un rationalisme qui prend en compte la dualité onde particule et de facto le hasard et le tâtonnement. Tout ceci concourt à une indétermination. Et cette indétermination est totale et générale : c'est l'œuvre du *Dieu-joueur-de-dés*. « *Il ne fait donc aucun doute que l'indétermination quantique peut influencer sur notre existence* »²⁰⁶. C'est pour comprendre cette indétermination inhérente de la dualité onde-corpuscule que Niels Bohr avait proposé le principe de complémentarité. Cette dualité ne pouvait se comprendre dans la rationalité classique fondée sur le déterminisme et l'objectivité. L'interprétation de Copenhague nous donne de comprendre « *que nous devons renoncer à l'objectivité classique lorsque nous avons affaire aux particules quantiques* »²⁰⁷.

Le deuxième élément qui nous permet de démontrer qu'il existe une complémentarité entre hasard, tâtonnement et rationalité est *le chat de Schrödinger et l'équation de Schrödinger*. Dans la vie, nous devons nous habituer aux choses étranges, bizarres, aléatoires et inhabituelles car l'univers n'est pas, comme le pensait Newton, cette grande horloge programmée par Dieu. Autrement dit, le déterminisme universel fondé sur une rationalité fixe n'existe pas. Dans *Alice au pays des merveilles*, Lewis Carroll le faisait déjà remarquer en ces termes : « *Vous m'y verrez, dit le chat, et il disparut. Alice n'en fut pas outre mesure surprise, car elle commençait à s'habituer à voir se produire des événements les plus bizarres* »²⁰⁸. Scientifiquement, c'est à travers *le chat de Schrödinger* que nous pouvons le démontrer. En effet,

« *Schrödinger nous propose d'imaginer un chat enfermé dans une boîte munie d'une source radioactive faible et d'un détecteur de particules radioactives. Le détecteur est conçu pour ne fonctionner qu'une seule fois, pendant une minute ; supposons que la probabilité pour que la source radioactive émette une particule décelable au cours de cette minute soit de $\frac{1}{2}$. La théorie quantique ne prédit pas la détection de cet événement radioactif ; elle ne nous donne que la valeur de sa probabilité : $\frac{1}{2}$. Si une particule est détectée, un gaz empoisonné est libéré dans la boîte et tue le chat. La boîte est installée*

²⁰⁶ H. Pagels, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, p. 148.

²⁰⁷ *Ibid.*, p153.

²⁰⁸ Lewis Carroll, cité par Heinz Pagels, in *L'univers quantique des quarks aux étoiles*, p. 147.

à bord d'un satellite, de sorte que nous ne pouvons savoir si le chat est mort ou vivant »²⁰⁹.

Cette expérience nous enseigne le caractère purement aléatoire des événements quantiques et ceux de la vie courante. « *Cette expérience semble impliquer la fin de l'objectivité du monde ordinaire* »²¹⁰. Elle implique l'irruption du hasard, de la probabilité dans la vie. Même dans l'ADN, ce hasard, cette indétermination existe : il n'y a donc pas de programmation génétique que l'on puisse soutenir. L'équation de Schrödinger nous donne de comprendre que la matière est non localisable et ne se conserve pas. Comme nous l'avons démontré plus haut, cette équation a mis fin au système Newtonien. C'est bien à partir de l'équation de Schrödinger que l'on a réellement compris qu'il fallait tourner le dos à une certaine physique, à une certaine ontologie, donc à un certain rationalisme. Ce n'est plus le rationalisme fondé sur l'immobilisme, de la localité et le déterminisme, il est désormais question du rationalisme fondé sur le mouvement, la non-localité et l'indéterminisme. Ce rationalisme tient donc naturellement compte du hasard et du tâtonnement.

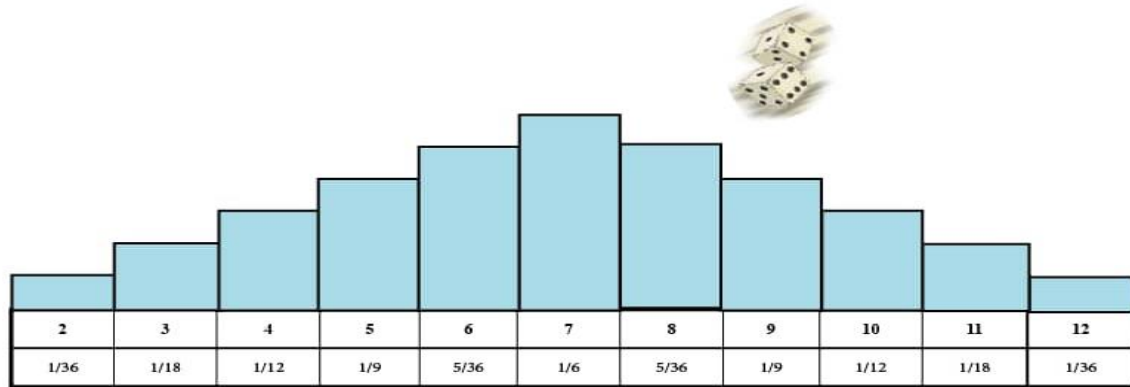
Le troisième argument qui nous permet de soutenir avec force qu'il y a complémentarité entre hasard, tâtonnement et rationalité est *la main invisible théorisée* par Heinz Pagels. Cette main invisible illustre bien comment et combien la probabilité est importante en science et dans la vie de tous les jours. Marquis De Laplace faisait déjà remarquer que « *les plus importantes questions de la vie ne sont, la plupart du temps, que des affaires de probabilité* »²¹¹. Adoptée par la science mais opposée à notre conception familière et religieuse, la probabilité est devenue un domaine d'étude mathématique très important. Cela est dû au fait que, l'exploration du hasard ne requiert que des études aléatoires, donc de la probabilité et des statistiques. En mathématiques, la probabilité d'un événement est la proportion de chance que cet événement se réalise. Mais il convient de préciser qu'en ce qui concerne la physique quantique, nous n'avons pas affaire aux probabilités simples, mais davantage à la distribution des probabilités. Comme nous l'avons démontré au chapitre trois de notre travail, les distributions des probabilités s'appliquent au hasard véritable, c'est-à-dire celui qui ne peut être battu. Ce hasard véritable se retrouve au niveau quantique. C'est pourquoi Heinz Pagels affirme que « *l'atome est le meilleur endroit où nous puissions trouver le hasard – il n'y a rien de tel que le hasard quantique (...)* *Le hasard quantique ne peut être battu ; le Dieu qui joue aux dés ne triche*

²⁰⁹ *Ibid.*, p148.

²¹⁰ *Idem.*

²¹¹ Marquis De Laplace, cité par Heinz Pagels, in *L'univers quantique des quarks aux étoiles*, p. 110.

jamais »²¹². Pour illustrer cela Heinz Pagels prend exemple la distribution des probabilités d'événements réels qu'est le lancer de dés (deux dés dans cet exemple précis). La somme des nombres tirés est comprise entre 2 et 12. On peut donc établir la table de probabilité suivante :



L'analyse des résultats nous donne de constater que le chiffre 7 a une forte probabilité d'apparition. Selon Heinz Pagels,

« tout se passe comme si une force, une main invisible obligeait le 7 à sortir le plus souvent que les autres chiffres. Ce qu'il y a de remarquable dans la distribution des probabilités entre les divers événements réels, c'est que cette distribution n'est pas matérielle – et pourtant, tout se passe comme si une force invisible agissait sur les objets matériels, les dés en l'occurrence (...) Les distributions de probabilité sont semblables à des mains invisibles qui agiraient sans toucher »²¹³.

Qui est donc le Dieu de la science ? Nous répondons que le Dieu de la science c'est le hasard qui agit à travers une main invisible appelée distribution de probabilité. Cette réalité expérimentée avec le lancer de dés que nous venons de voir est similaire avec ce qui se passe au niveau quantique. Car,

« Dans le monde microscopique des atomes, c'est la distribution des événements qui est spécifiée par la théorie quantique, et non les événements individuels eux-mêmes. Les distributions de probabilité quantique, qui sont les mains invisibles au niveau atomique, sont les vraies responsables des forces chimiques qui lient les atomes les uns aux autres »²¹⁴.

Les distributions de probabilité possèdent une certaine objectivité par rapport aux événements individuels. Mais c'est un raisonnement à rebours car on ne peut jamais savoir d'avance quel chiffre sortirait à la suite d'un lancer. Tout compte fait, la main invisible, les distributions de

²¹² Idem.

²¹³ Ibid., pp112-113.

²¹⁴ Idem.

probabilité qui agit avec une certaine objectivité, est une autre preuve de plus qu'il existe une complémentarité entre hasard, tâtonnement et rationalité en science.

Le quatrième et dernier argument que nous voulons utiliser pour démontrer qu'il existe une complémentarité entre hasard, tâtonnement et rationalité est l'expérience des fentes de Thomas Young. Cette expérience peut être interprétée de façon classique ou quantique. Elle est interprétée de façon classique si on fait passer entre les fentes des billes, et là il faudra simplement utiliser les lois de Fresnel pour comprendre. Elle est interprétée de façon quantique si on fait passer entre les fentes un photon ou un électron. Etienne Klein note que « *l'expérience des deux fentes apparaît ainsi comme le juge de paix capable de dire à quel genre d'objet nous avons affaire. Si elle donne lieu à des interférences, c'est que l'on est en présence d'ondes. Sinon ce sont des corpuscules* »²¹⁵. Mais en réalité, l'interprétation quantique de l'expérience repose sur le fait qu'un photon individuel se retrouve dans un état superposé suite au franchissement des fentes. On peut interpréter ce fait en disant que le photon est passé *par les deux fentes en même temps*.

*« Mais que se passe-t-il si, insatisfait par cette interprétation des choses, on cherche à détecter par quelle fente le photon "est réellement passé" ? Le résultat net de l'expérience est qu'on détecte bien que le photon passe soit dans la fente de droite, soit dans la fente de gauche, mais alors la figure d'interférence disparaît : le photon n'est plus dans un état superposé suite à la mesure. La détection du photon dans l'une des fentes provoque un "effondrement de la fonction d'onde" et de l'état superposé »*²¹⁶.

Autrement dit, toute tentative de savoir de quel côté le quantum est passé ne permet plus d'obtenir des interférences. Voilà un fait paradoxal, nous ne pouvons que tâtonner. Comme nous l'avons souligné au quatrième chapitre, de notre travail, le problème de la mesure pose un problème de vérité. L'expérience de Young vient seulement conforter ce point de vue. En effet,

*« L'expérience de Young permet donc également de mettre en évidence le problème de la mesure quantique. Ce problème est que les lois quantiques ne prévoient pas directement cet effondrement, et qu'il n'existe donc pas de définition objective et rigoureuse de ce qu'est une "mesure" »*²¹⁷.

La mesure se donne en tâtonnant par la formule suivante : « *Résultat de mesure = valeur vraie + erreur aléatoire + erreur systématique* ». Il y a là un réel tâtonnement. La mesure vraie est impossible à obtenir car

« Toute mesure apparaît ainsi comme une interaction entre l'objet microscopique sur lequel on effectue cette mesure et l'appareil de mesure proprement dit (qui est, lui, macroscopique). Cette interaction empêche de faire la part entre ce qui revient en

²¹⁵ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, pp. 24-25.

²¹⁶ <https://www.techno-science.net/definition/2936.html>.

²¹⁷ *Idem*.

propre à l'objet mesuré et ce qui revient en propre à l'appareil de mesure, comme si les propriétés des particules ne pouvaient plus être détachées des conditions de leur manifestation. Des textes de Niels Bohr, l'un des pères fondateurs de la physique quantique, émergeait une variante plus radicale encore de cette idée. Selon lui, les objets quantiques ne possèdent aucun attribut propre. Ils constituent de fait des entités inséparables de leurs conditions d'observation : « le point décisif, écrit Niels Bohr, est ici d'avoir reconnu que toute tentative est vouée à l'échec, qui aurait pour but d'analyser à l'aide des méthodes et des concepts de la physique classique l'individualité des processus atomiques qui résultent de l'existence du quantum d'action, et cela parce qu'il est impossible de séparer nettement un comportement non perturbé des objets atomiques de leur interaction avec les instruments de mesure indispensables pour cette analyse. ». De telles conceptions de l'opération de mesure étaient absentes de la physique traditionnelle. Les physiciens s'étaient en effet habitués à l'idée qu'il est toujours possible de concevoir des appareils de mesure dont l'influence sur le système est aussi faible qu'on le veut (...) D'où l'idée qu'idéalement une mesure, quelle qu'elle soit, enregistre objectivement quelque chose qui est « déjà là », sans modifier ses propriétés : elle n'aurait donc qu'un rapport passif avec le réel, se contentant d'opérer sur lui un simple décalque. La physique quantique a obligé à reconsidérer cette prétendue neutralité de l'opération de mesure, car pour elle le type de calcul que nous évoquions à propos du thermomètre est impossible. Dès lors, quel sens cela a-t-il de parler des propriétés d'un objet microscopique qu'aucune mesure n'a été effectuée sur lui ? Cette interrogation sur la réalité des choses en dehors de la mesure ou de l'observation, le lecteur l'a sans doute appréhendée d'une autre façon le jour où il s'est demandé si l'ampoule de son réfrigérateur était bien éteinte lorsque la porte de ce dernier était fermée. Mais elle prend ici une portée nouvelle »²¹⁸.

A l'heure actuelle, de nouveaux développements sur cette théorie permettent de réaliser des expériences très similaires sur des objets de plus en plus volumineux, comme les atomes, les molécules, les condensats de Bose-Einstein. En particulier, on a observé des interférences avec des molécules de fullerène. Ces expériences démontrent que la vision purement corpusculaire de la matière n'est pas satisfaisante avec des objets de plus en plus gros, d'où la question récurrente de la dualité onde-corpuscule en physique quantique.

En suivant les diverses interprétations de l'expérience des fentes, il apparaît clairement que nous tâtonnons à chaque fois que nous voulons réaliser une mesure sur une particule quantique. Car comment rendre compte de ce qui n'a aucun attribut ? Comment apprivoiser ce qui est tout le temps perturbé par l'instrument de mesure ? C'est alors que nous avons recourt au hasard et au tâtonnement pour essayer de rendre cela intelligible.

III- DE LA NON-CONSTANCE DE LA RATIONALITE SCIENTIFIQUE

²¹⁸ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, pp. 31-33.

On appelle rationalité le caractère de ce qui est rationnel ; et est rationnel, ce qui relève de la raison ou qui est conforme à la raison. A la sortie du Moyen-âge, notamment vers la fin du XVI^{ème} siècle, le monde a pu recommencer à vivre des mutations en science. Car, la période du Moyen-âge était marquée par un dogmatisme qui avait éclipsé la raison et insulté l'intelligence humaine : le feu que Prométhée avait donné aux hommes avait été éteint par l'Eglise. On pouvait donc croire à cette époque que la rationalité scientifique était stable et constante. A la fin du XVI^{ème} siècle, Galilée ralluma cette flamme par son courage et son opposition à l'Eglise, prouvant que le géocentrisme d'Aristote et de Ptolémée soutenu par l'Eglise était une *illusion d'optique*, et que l'héliocentrisme de Nicolas Copernic était la vérité scientifique. Galilée ouvrit donc une ère où la raison (l'intelligence humaine) pouvait recommencer à jouir de l'une de ses caractéristiques essentielles : la capacité de création, d'innovation. Les découvertes, les inventions et les révolutions qui s'en sont suivies l'illustrent parfaitement.

Avec Popper, nous avons démontré que la science n'est ni certaine ni précise ; elle n'est qu'hypothétique. Ses vérités (vérisimilitudes) sont provisoires. La science en tant qu'œuvre humaine est toujours perfectible. Ce n'est pas le lieu de la religion et de la théologie. Sa grande fierté réside dans sa capacité à se déjuger comme le souligne si bien Richard Malka dans son ouvrage *Le droit d'emmerder Dieu* en ces termes : « *la science a cet avantage sur la religion qu'elle peut se déjuger sans se discréditer. La raison progresse par ses erreurs quand la foi meurt de ses errements* »²¹⁹. La science passe toujours d'un paradigme à un autre, d'un système à un autre : c'est la révolution scientifique. Dans *La structure des révolutions scientifiques*, Thomas Kuhn nous enseigne que, lorsqu'un paradigme change, le monde change aussi. Car les scientifiques voient le monde d'une façon nouvelle. On en vient à admettre que :

« Un des effets les plus puissants des révolutions scientifiques peut être de faire pénétrer la science dans des dimensions d'espace, de temps ou d'énergie, extrêmes par leur grandeur ou leur petitesse, et auparavant inaccessibles, ouvrant ainsi aux techniques humaines de nouveaux champs de développement (ceux du monde moléculaire en biologie, du monde quantique en métrologie et en informatique). Les sciences mises en synthèse, sans perdre leur spécificité (une synthèse n'est pas une fusion), deviennent ainsi pratiquement beaucoup plus puissantes, par leur pouvoir d'explication et par leurs applications. Du même coup, elles se préparent à de nouvelles avancées de la connaissance. Une révolution, loin de se condenser dans son ou ses moments initiateurs (spectaculaires ou non), s'inscrit dans une durée qui, même relativement brève au regard de l'histoire de la science, peut se chiffrer en dizaines d'années, jusqu'à un siècle ou plus. Un certain temps est indispensable pour que la solidité des résultats qu'elle annonce soit suffisamment attestée, et les voies de la résorption des inévitables contradictions initiales de son expression théorique suffisamment dessinées pour en faire des bases généralement admises d'une pratique scientifique. Et surtout une

²¹⁹ R. Milka, *Le droit d'emmerder Dieu*, Paris, Grasset, 2021, p7.

révolution scientifique peut se prolonger plus ou moins directement par d'autres suites révolutionnaires. Le XVII^e siècle et le XX^e siècle ont vu se produire, si l'on peut dire, des rafales de révolutions scientifiques »²²⁰.

Une révolution scientifique est un bouleversement, un basculement, un effondrement d'un système par suite de crises, de critiques et de prise en compte de nouveaux paramètres qui nous font changer de paradigme. Les révolutions scientifiques nous font passer d'une rationalité à une autre. C'est ce qui justifie ces propos de Robert Blanché : *« on comprend comment ces crises intérieures de la science ont pu être jugées comme des crises de la raison elle-même, et comme des atteintes sérieuses au rationalisme philosophique »²²¹.*

Mouchili Njimom nous a également enseigné que, à voir comment fonctionne la science, il ne peut pas y avoir de connaissance dont l'éternité et l'immutabilité pourraient caractériser la structure et le contenu. L'intelligence humaine est créatrice, et comme nous l'avons souligné dans les pages précédentes, c'est là l'une de ses caractéristiques fondamentales. Si l'intelligence n'avait pas cette capacité créatrice, on ne pourrait parler d'évolution culturelle, la science ne serait pas en mutation constante. L'histoire des révolutions nous montre quelque chose d'extraordinaire : *« tout se passe comme si l'intelligence humaine n'avait cessé que le souci d'une ré-invention, d'un perfectionnement aussi se scandalise-t-elle des restrictions, des limitations et des anathèmes dont elle se fait la victime »²²².* C'est ce qu'affirme Antoine Manga Bihina dans *Le pluralisme des rationalités*, un ouvrage publié en collaboration avec Issoufou Soulé Mouchili Njimom. Le titre de cet ouvrage est très évocateur. Il montre qu'il n'y a pas une rationalité unique comme l'avaient pensé les anciens. Par analogie, chaque époque a sa rationalité, comme chaque période de science a sa rationalité. Il y a donc une corrélation entre la rationalité et les révolutions scientifiques. Quand on parle de révolution scientifique, on pense évidemment à Thomas Kuhn. Et celui-ci nous apprend que,

« La révolution scientifique est comme un déplacement du réseau conceptuel à travers lequel les hommes de science voient le monde (...) Quand les paradigmes changent, le monde lui-même change avec eux (...) Ce qui, avant la révolution, était pour l'homme de science un canard, devient un lapin (...) Quand change la tradition de science normale, l'homme de science doit réapprendre à voir le monde autour de lui ; dans certaines situations familières, il doit apprendre à voir de nouvelles formes »²²³.

²²⁰ J. Bonitzer, « L'idée de révolution : Quelle place lui faire au XXI^e siècle », in d'Olivier Bloch (dir), Paris, Editions Sorbone, 2010, pp. 163-164.

²²¹ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 8.

²²² A. Manga Bihina et I. S. Mouchili Njimom, *Pluralisme des rationalités*, p. 12.

²²³ T.S. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, pp. 147-158.

Ce que dit Kuhn s'est opéré de façon éloquente avec la découverte de la physique quantique. C'est pourquoi elle avait été qualifiée de véritable révolution. Car par elle, « *nous avons assisté à une sorte de dissolution des cadres rationnels. Elle a même menacé, au cœur de la raison, les lois logiques* »²²⁴. Lorsque Kuhn affirme que, lorsqu'il y a révolution on doit réapprendre à voir le monde, c'est parce que les innovations sont parfois profondes et scandaleuses. Il est souvent impératif et nécessaire de trouver des instruments intellectuels et expérimentaux nouveaux pour rendre compte, pour expliquer le nouveau monde qui s'ouvre devant nous. Car chaque révolution « *demande à l'esprit d'opérer une mutation, de briser avec les vieilles habitudes* »²²⁵. C'est pourquoi nous affirmons que chaque révolution scientifique est aussi l'irruption d'une nouvelle rationalité. La rationalité scientifique est donc non constante.

Robert Blanché nous fait remarquer que, l'histoire des sciences peut aussi être qualifiée d'histoire de la raison. Si nous voulons voir ou comprendre comment la raison a changé tout au long de l'histoire, il suffit de jeter un regard sur l'histoire des sciences. Car

*« Les sciences révèlent une propriété de l'esprit que ni l'activité technique ni la vie sociale n'avaient mise en évidence, à savoir qu'il y a une différence de nature entre la compréhension de faits particuliers et l'intelligence d'un ensemble de faits unis par une relation logique (ou mathématique) »*²²⁶.

Voilà pourquoi Robert Blanché soutient que les crises intérieures de la science ont pu être jugées comme des crises de la raison elle-même. Ainsi, à titre d'exemple, pendant la physique classique fondée, sur le déterminisme, l'objectivité, l'uniformité des lois de la nature et la localité, l'homme avait une certaine façon de raisonner ou de penser ; la rationalité de la physique classique était comme close. C'était la rationalité du *Dieu-non-joueur-de-dés*. Avec l'avènement de la physique quantique, de nouvelles bases conceptuelles sont advenues : l'indéterminisme, la non-localité, la non-uniformité des lois de la nature. Cela a créé un nouveau conditionnement, donc une nouvelles façon de de voir le monde et de le comprendre : c'est la rationalité du *dieu-joueur-de-dés*. Les bases conceptuelles ou fondamentales d'une science constituent un conditionnement, un moule pour la pensée. Elles nous imposent comment voir et comprendre le monde. Voilà pourquoi Kuhn avait dit que lorsqu'un paradigme change, le monde change aussi, c'est-à-dire que la rationalité change. La rationalité du *dieu-non-joueur-de-dés* et celle du *Dieu-joueur-de-dés* sont incommensurables. Car en effet, l'élaboration d'un nouveau paradigme exige un nouveau cadre intellectuel : de nouveaux concepts, de nouveaux

²²⁴ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, pp. 7-8.

²²⁵ *Ibid.*, p54.

²²⁶ B. Saint-Sernin, « La raison », in <https://www.cairn.info/la-raison--9782130537762-page-35.htm>, 08/03/2010.

instruments, de nouvelles expériences et de nouveaux résultats. Les révolutions scientifiques impliquent une évolution et une historicité de la raison. Robert Blanché nous apprend à ce sujet que :

« On développa alors le thème de l'évolution de la raison, au sens que le mot d'évolution a pris dans les sciences de la vie. Au XIX^e siècle, la biologie devient transformiste, et le transformisme nous apprend à voir partout, sous la fixité apparente, un devenir lent (...) La raison a une fonction vitale qui, comme les autres fonctions vitales, est douée d'un certain pouvoir de s'adapter à la diversité des circonstances. La psychologie génétique, l'ethnographie, la sociologie, abondent dans le même sens. Enfin, le progrès des sciences historiques, la place croissante qu'elles prennent parmi les sciences de l'homme, ne pouvaient que renforcer cette idée d'une historicité de la raison »²²⁷.

La rationalité scientifique est donc par nature une réalité mutante, car la raison s'adapte tout le temps aux circonstances.

²²⁷ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 6.

Au terme de ce chapitre, nous pouvons retenir que, avec l'avènement de la physique quantique, il y a une reprise en main de l'imaginaire jadis considéré comme obstacle épistémologique. Il s'avère être un catalyseur incontournable pour l'évolution de la science. Elle est une force qui anime l'esprit du chercheur. Car dans le jeu de hasard de la physique quantique, il est apparu nécessaire de conjuguer avec l'imaginaire pour expliquer les énigmes qu'elle présente. Cela nous a fait tirer deux conclusions. Premièrement, il y a une complémentarité entre hasard, tâtonnement et rationalité et secondement, la rationalité scientifique est par nature non constante. En outre en fonction des époques, des circonstances et des vicissitudes que les scientifiques rencontrent.

CHAPITRE VI : METAPHYSIQUE ET LOGIQUE SOUS L'EMPRISE DU HASARD ET DU TÂTONNEMENT

Dans le quatrième chapitre de notre travail, nous avons démontré que la révolution quantique perturbait la réalité ontologique classique. Car la découverte des quanta était déjà une amorce de l'indéterminisme. Dans le présent chapitre, nous allons nous atteler à montrer et à démontrer que le hasard et le tâtonnement inhérents à la physique quantique, ébranlent les principes sacro-saints de la métaphysique et de la logique classique : conservation de la substance et le déterminisme causal en métaphysique, les lois d'identité, de non-contradiction, et du tiers-exclu en logique. En effet, la logique classique était intimement liée à la métaphysique. Car chez Aristote (l'inventeur de la logique), la logique clarifiait les rapports entre les êtres. C'est pourquoi elle fut qualifiée de logique ontologique. Même si la métaphysique et la logique vont connaître des modifications partielles chez les médiévaux et chez les modernes, elles resteront fortement ancrées dans la tradition aristotélicienne. Car à en croire Kant, la logique n'aurait pas d'histoire, étant créée achevée par Aristote. Du coup, lorsque la réalité ontologique est perturbée, la métaphysique et la logique prennent de nouvelles orientations. Ce qui est arrivé avec la découverte de la physique quantique était impensable et unimaginable par de nombreux philosophes et scientifiques. C'est l'avènement de la physique quantique qui mérite mieux le qualificatif « révolution ». Car jamais par le passé, on a vu une découverte bouleverser nos habitudes, ébranler la métaphysique et la logique comme l'a fait la découverte de la physique quantique. Elle a scandalisé et déconcerté de grands scientifiques comme Einstein et Planck l'initiateur. Avant la découverte de la physique quantique, le déterminisme régnait et gouvernait. C'était l'un des attributs principaux et peut-être même le plus éminent des attributs du dieu de cette époque : le dieu-non-joueur-de-dés. Dieu peut-il mourir ? Oui malheureusement. A la suite d'un combat de titans, le *Dieu-non-joueur-de-dés* a été vaincu par le *Dieu-joueur-de-dés*. La prise de pouvoir de ce nouveau dieu a donc entraîné plusieurs bouleversements. Le déterminisme, l'exactitude, l'uniformité des lois de la nature et la localité ont été remplacés par l'indéterminisme, le hasard, le tâtonnement et la non-localité quantique. Au niveau logique, certaines lois, celles qui étaient les mieux ancrées dans l'esprit humain ont pris un coup significatif. Au niveau métaphysique, les divers attributs de la chose substantielle lui sont enlevés. Dès lors que sont devenues la métaphysique et la logique sous le règne du Dieu-joueur-de-dés ?

I- INCERTITUDE SCIENTIFIQUE ET TATONNEMENT

Sous le règne du *Dieu-non-joueur-de-dés*, parler d'incertitude en science était un scandale, un blasphème si l'on s'en tient aux propos d'Hippocrate et de Simon-Pierre de Laplace. Elle existait, mais elle était comme mise à l'écart, ou bien enchaînée. Mais avec la prise de pouvoir du *Dieu-joueur-de-dés*, l'incertitude, le hasard et le tâtonnement ont reçu le statut d'anges, et les anges les plus proches de dieu. Ils sont devenus scientifiquement et philosophiquement pensables. Dans les sciences de la matière précisément, l'incertitude est omniprésente, et l'on ne peut rendre compte de la matière sans tenir compte d'elle : elle est incontournable. C'est pourquoi elle porte désormais le qualificatif « scientifique ». Car le *Dieu-joueur-de-dés* passe par elle pour nous transmettre ses volontés (vérités). C'est à Werner Heisenberg que nous devons la découverte du caractère scientifique de l'incertitude. L'incertitude est née du fait que, « *L'étude des processus atomiques a montré que l'application de la mécanique classique et de l'électrodynamique ne permet pas d'interpréter les faits observés dans ce domaine. On se trouvait donc forcé d'améliorer les lois ou équations antérieures* »²²⁸. Mais la découverte ne nécessitait pas une amélioration des lois et équations antérieures, elle demandait une révolution, un changement radical des lois et équations jusqu'alors en vigueur. Car en effet, les quanta ont tantôt un aspect corpusculaire et un aspect ondulatoire. Heisenberg démontre alors judicieusement que,

« *S'il existe des structures qui ont tantôt un aspect d'onde, tantôt un aspect de particule, il faut sans doute créer de nouveaux concepts. Peut-être faudrait-il appeler de telles structures des ondules, et la mécanique quantique est alors une description mathématique du comportement de ces ondules* »²²⁹.

C'est cet état de choses qui avait poussé Robert Blanché dans son ouvrage *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique* à soutenir que :

« *L'onde n'a pas de réalité physique, ne faisant que représenter notre connaissance du comportement corpusculaire ; le corpuscule se dissout en un système d'équation, il perd d'ailleurs son individualité au cours du temps, et il n'existe qu'en puissance en dehors des instants où il se manifeste à notre observation ; que pourrait bien d'ailleurs signifier la conservation d'une grandeur lorsqu'on descend à un niveau où toute mesure est affectée d'une imprécision fondamentale ? Plus généralement encore : la possibilité d'une connaissance objective des phénomènes est maintenant rejetée, non pas simplement à cause de l'insuffisance de nos moyens, mais pour des raisons essentielles qui tiennent à la nature des choses et, plus précisément, à l'existence du quantum d'action* »²³⁰.

²²⁸ W. Heisenberg, *La partie et le tout*, p. 134.

²²⁹ *Ibid.*, p135.

²³⁰ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 262.

Si nous scrutons la question de Robert Blanché à savoir : que pourrait bien d'ailleurs signifier la conservation d'une grandeur lorsqu'on descend à un niveau où toute mesure est affectée d'une imprécision fondamentale ? Nous répondrons tout simplement que, au niveau du quantum, aucune connaissance, aucune mesure n'est objective. Le raisonnement se fait par tâtonnement car l'incertitude nous y oblige. Se lancer dans le domaine de l'incertitude scientifique n'est pas chose facile. Il faudrait se refaire une santé mentale, il s'agit d'une conversion mystique : quitter la spiritualité du *Dieu-non-joueur-de-dés* à celle du *Dieu-joueur-de-dés*. Robert Blanché note à ce propos que :

« Le savant qui a vécu cette période relativement brève a dû ainsi recommencer plusieurs fois son instruction scientifique, en ce sens fort qu'il lui a fallu modifier non seulement son bagage de connaissances, mais jusqu'à son outillage conceptuel et, comme dit Bachelard, provoqué en lui-même une sorte de mutation mentale et, intellectuellement parlant se refaire une vie. Au moins deux fois. D'abord avec la mécanique relativiste, puis, celle-ci une fois assimilée, avec la mécanique quantique, qui exigeait un bouleversement beaucoup plus radical encore de toutes nos habitudes de pensée »²³¹.

Le bouleversement consistait en un changement radical dans la façon de poser les problèmes, de voir et de comprendre le monde. Une nouvelle ontologie a vu le jour : l'ontologie du mouvement et du hasard. Dans le monde du hasard, la vérité se cherche par tâtonnement. Car comme nous l'avons souligné plus haut, dans le domaine des ondules, rien n'est certain. Même le langage par lequel la compréhension est possible devait lui aussi connaître une sérieuse mutation. Nos esprits, qui s'étaient familiarisés avec le langage déterministe devaient se refaire eux aussi, une santé. Car

« Toute compréhension, scientifique ou non, dépend de notre langage, de la communication des idées ; toute description des phénomènes, des expériences et de leurs résultats, repose sur le langage comme seul moyen de communication. Les mots de ce langage représentent les concepts de la vie quotidienne qui, dans le langage scientifique de la physique, peuvent s'épurer jusqu'à devenir les concepts de la physique classique. Ces concepts sont les seuls outils nous permettant d'échanger sans ambiguïté nos pensées sur les phénomènes, sur l'organisation des expériences et sur leurs résultats »²³².

Avec l'avènement de la physique quantique, tout l'édifice de communication mis sur pied pendant des siècles devait être revu. Car ces concepts ne permettaient pas de décrire les expériences et les résultats des phénomènes quantiques. Il fallait trouver des concepts qui sont en accord et en adéquation avec les phénomènes aléatoires. D'abord, il fallait admettre que le hasard est scientifique ; ensuite admettre que le hasard rime avec le tâtonnement. Le

²³¹ *Ibid.*, p. 261.

²³² *Ibid.*, p. 307.

tâtonnement est donc, depuis l'avènement de la physique quantique, la nouvelle méthode des sciences fondées sur le hasard et l'incertitude.

II- DECONSTRUCTION DES PRINCIPES D'IDENTITE, DE NON-CONTRADICTION ET DU TIERS-EXCLU

La logique selon Kant, n'aurait pas d'histoire, étant créée achevée par Aristote. A en croire Kant, les travaux de Gottlob Frege, George Boole, Bertrand Russell et de Ludwig Wittgenstein n'ont rien apporté à la logique. La logique aristotélicienne semblait reposer sur des principes directeurs de la connaissance immuables et absolus. Kant, habitué des changements partiels de l'histoire de la logique, n'avait jamais imaginé une révolution aussi profonde et radicale comme celle qui est advenue avec la physique quantique. La révolution quantique est venue déconstruire le caractère immuable qu'on attribuait à certains principes logiques. Robert Blanché le fait remarquer en ces termes :

« C'est cette thèse de l'immutabilité et de l'absolue nécessité des principes directeurs de la connaissance que la science actuelle oblige à mettre en question. C'est surtout par une autre voie que la science contemporaine a ouvert une crise de la raison. Non pas en la prenant comme objet d'une science, mais en l'utilisant comme instrument pour la construction de la science. La logique formelle, la mathématique spéculative, la physique théorique, c'est-à-dire celles des sciences qui sont, par excellence, l'œuvre de la raison, ont été amenées, par des cheminements divers, à contester la validité absolue des principes qu'on avait tenus jusque-là pour constitutifs de la raison. Elles nous font ainsi assister à une sorte de dissolution des cadres rationnels (...) La révision ne s'est pas limitée à ces formes de l'intuition sensible que sont l'espace et le temps, elle a gagné les principes proprement intellectuels et, par-delà ceux qui nous servent à organiser l'expérience, elle a même menacé, au cœur de la raison, les lois logiques »²³³.

Voilà pourquoi la révolution quantique bouleversait et déconcertait. Les principes les mieux ancrés, ceux qui cadraient avec l'expérience quotidienne étaient remis en question, voire même déconstruits. Ainsi, *« du côté des lois logiques, on le verra, l'introduction de la notion de complémentarité paraît s'accorder mal aux exigences formelles de la pensée »²³⁴. C'est pourquoi « des principes purement logiques, comme ceux d'identité et de contradiction, paraissent quelque peu bousculés »²³⁵.* Tout ce passe comme si la pensée était remise en question. A titre de rappel, ces trois principes étaient considérés comme des principes régulateurs de la pensée. Ils avaient, comme pour ainsi dire, été considérés comme immuables

²³³ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 5-8.

²³⁴ *Ibid.*, p. 53.

²³⁵ *Ibid.*, p. 51.

et incorruptibles par n'importe quel changement. Mais c'était sans doute une erreur fatale. Que disent chacun de ces principes ? Dans le *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, André Lalande nous apprend ceci du principe d'identité: « on l'énonce ordinairement sous la forme : ce qui est, est ; ce qui n'est pas, n'est pas. En notations $a = a$; ce qui n'est pas vrai seulement de l'égalité mathématique, mais ce qui veut dire a inclus a , la lettre a pouvant représenter ici soit un concept, soit une proposition »²³⁶. Le principe de non-contradiction est le principe selon lequel deux propositions contradictoires ne peuvent être vraies en même temps, ou fausses en même temps. Le principe du tiers exclu est le « principe selon lequel il n'y a aucune proposition intermédiaire qui puisse être vraie entre une affirmation et son contraire. Soit la proposition p , le principe du tiers exclu se formule : p ou non p »²³⁷.

« Avec les lois logiques, nous pénétrons, si l'on peut dire, dans le sanctuaire de la raison, protégé contre toute atteinte. On les ramène traditionnellement à trois grands principes, regardés comme fondamentaux : identité (A est A) non-contradiction ou, par abréviation, contradiction (pas à la fois A et non- A), tiers exclu. Ces principes ne règlent plus l'expérience, mais le cours même de notre pensée. Purement formels, ils ne risquent donc aucun démenti venu des choses. Et pas davantage un désaveu venant de nous, puisque leur évidence est telle que nous ne pouvons même pas concevoir leur négation : la pensée ne saurait les nier sans se nier elle-même. Inutile, donc, de justifier leur nécessité par une « déduction transcendantale », comme c'était le cas avec les principes synthétiques. Leur nécessité, à eux, est de nature analytique et, partant, immédiate et absolue »²³⁸.

Tout au long de l'histoire de la logique et des études qui y ont été faites, ces principes ont été classés, selon une hiérarchie qui tient compte de leur degré d'influence dans la pensée de l'homme. Cela est illustré par Robert Blanché lorsqu'il écrit :

« Tous les trois, cependant, ne se situent pas exactement au même niveau ; installé au sommet de la hiérarchie, ils s'ordonnent à leur tour selon une hiérarchie interne, leur évidence comportant, paradoxalement, des degrés. Celui dont l'autorité est la mieux assurée est le principe d'identité qui, n'a guère été contesté. Si la dialectique hégélienne s'en prend à lui, c'est pour l'accuser de stérilité plutôt que de fausseté. Le principe de contradiction paraît un peu moins intangible. Dès l'Antiquité, Héraclite, les sophistes, l'avaient quelque peu malmené, s'attirant ainsi les reproches véhéments d'Aristote (...) C'est avec le principe du tiers exclu que l'évidence faiblit. Entre l'affirmation et la négation, ne peut-on concevoir la suspension du jugement ? Entre le vrai et le faux, n'y a-t-il pas place pour ce qui demeure indéterminé ? Déjà Aristote, tout en reconnaissant constamment, dans sa logique, l'autorité de ce principe, admettait qu'il cesse de s'appliquer lorsqu'on a affaire à des futurs contingents »²³⁹.

Tout compte fait, dans un monde déterministe dans lequel dieu ne joue pas aux dés, ces trois principes étaient absolus et incontestables. Même les réformes de Frege, Boole, Russell et de

²³⁶ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 457.

²³⁷ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 449.

²³⁸ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 81.

²³⁹ *Ibid.*, pp. 81-82.

Wittgenstein et des mathématiciens n'ont pas affecté considérablement, ni supplanté les vieux principes aristotéliens. Ces travaux, ont au mieux, écorché l'enveloppe extérieure ; ils n'ont pas atteint les fondements. Mais il faut reconnaître que ces logiques et les développements mathématiques annonçaient déjà la déconstruction de ces principes traditionnels. En effet,

« dès la fin du XIX^e siècle, certaines initiatives mathématiques laissaient déjà percevoir les premières menaces à l'armature logique de la pensée. En actualisant l'infini, bien plus, en lui reconnaissant diverses puissances, la théorie des ensembles de Cantor dérangeait à ce point nos habitudes intellectuelles que nombre de mathématiciens, à ses débuts, refusaient de prendre au sérieux. Certains axiomes mathématiques, dont l'évidence et la certitude étaient censées liées à celle des principes logiques, s'y trouvaient en effet dénoncés, comme cessant d'être valables pour des ensembles infinis : c'est le cas, notamment, de celui qui affirme que le tout est plus grand que la partie. Puis, au moment où les mathématiciens commençaient à s'accoutumer à ces nouveaux modes de pensée, surgissent, l'une après l'autre, les antinomies. Par des raisonnements assez simples et d'une logique apparemment irréprochable, on pouvait démontrer aussi bien telle proposition que sa négation. La secousse était d'autant plus rude qu'on ne pouvait voir là, comme certains opposants l'avaient d'abord cru, la contradiction interne qui condamnait enfin la théorie des ensembles. Celle-ci n'en donnait que l'occasion, et Russel montrait qu'il fallait en chercher l'origine à un niveau plus profond, en remontant jusqu'à la logique. La suspicion atteignait désormais tout ce qui avait été regardé jusque-là comme domaine de l'évidence logique. L'« évidence » ne garantissait plus la validité »²⁴⁰.

Ce sont donc les développements mathématiques et les vicissitudes de la physique au XIX^{ème} siècle qui ont commencé à bousculer les lois logiques. Ces développements poussèrent les logiciens à un travail de refonte qui a sérieusement porté atteinte au caractère absolu des lois logiques traditionnelles. Mais comme ces logiciens étaient influencés par le déterminisme, leurs travaux se sont avérés partiels, et en réalité pas très fructueux. Comme le fait remarquer Robert Blanché,

« Les travaux des logiciens allaient également contribuer à dégrader peu à peu les principes traditionnels. On sait que la vieille logique aristotélicienne, accordée à un mode de pensée substantialiste, a été supplantée, depuis un siècle, par une logique de type mathématique. Si profonde qu'elle fût, cette transformation, cependant, n'affectait guère par elle-même la solidité des vieux principes »²⁴¹.

Car, pour un « réformateur » comme Russell, les lois logiques traditionnelles demeuraient valables comme l'atteste Robert Blanché :

« Néanmoins, aux yeux de Russell, les trois lois logiques habituelles demeuraient valables, puisqu'elles étaient intégrées à un système logique dont le sens et la vérité n'étaient nullement mis en doute, loin de là, la logique devant, selon lui, fournir aux axiomatiques des mathématiciens la base solide et définitive qui leur faisait défaut, en insufflant à ces formes

²⁴⁰ Ibid., p. 82-83.

²⁴¹ Ibid., p. 84.

vides une signification et une vérité. Contrairement à celles-ci, la logique est toujours conçue comme un système catégorico-déductif »²⁴².

Un autre « réformateur » très illustre comme Wittgenstein, avait certes franchi un cap, mais il était encore très influencé par le déterminisme. C'est pour cela que, malgré ses réformes, les lois logiques traditionnelles conserveront toujours leur caractère absolu voir éternel. Robert Blanché nous enseigne à cet effet que :

« Un second pas est bientôt franchi par Wittgenstein, qui enseigne et fait admettre que les lois logiques sont des « tautologies », c'est-à-dire des énoncés purement formels, vides de tout contenu, qui deviennent des vérités dès qu'on y verse un contenu quel qu'il soit. Elles ne disent proprement rien par elles-mêmes, mais elles nous permettent de dire autrement ce que nous avons dit d'abord. Elles règlent seulement les transformations du langage, elles n'ont affaire qu'au discours. Wittgenstein ne leur en conserve pas moins leur caractère absolu : un énoncé est, en soi, tautologique ou non, les lois logiques sont nécessaires et ont valeur éternelle »²⁴³.

Ce sont ces caractères éternel et absolu des lois logiques que viendront démentir les logiques nouvelles, celles qui sont nées avec l'avènement de la physique quantique, la mathématique spéculative et la logique formelle. Car affirmons-le une fois de plus, la physique quantique a rompu avec l'ancienne ontologie ; et donc, la logique fondée sur elle est tombée en désuétude. Il fallait une logique adaptée à l'indéterminisme, au hasard et au tâtonnement. Robert Blanché nous enseigne que concevoir les lois logiques comme éternelles et absolues sera

« Démentie par l'apparition de logiques nouvelles qui, à l'exemple des géométries non euclidiennes, se construisent sur l'abandon ou la modification de tel ou tel axiome de la logique classique et, en premier lieu, par le rejet de la loi du tiers exclu. Avec la pluralité des logiques, il fallait désormais reconnaître, comme on avait dû le faire au siècle précédent pour la géométrie, leur relativité. A notre époque, les principes logiques se verront attaqués de toutes parts : physique théorique, mathématique spéculative, logique formelle »²⁴⁴.

Pour comprendre la physique quantique, le savant devait renoncer à toute la logique apprise jusqu'ici. Il devait aussi, par conséquent, abandonner tous les raisonnements fondés sur cette logique. C'est le cas par exemple du raisonnement par l'absurde fondé sur la loi du tiers exclu et de la double négation. La dualité onde-corpuscule, source du paradigme de la relativité, imposait au savant une autre façon de concevoir le réel et de poser les problèmes. L'abandon des vieux préceptes aristotéliens et classiques était donc indispensable. C'est avec Niels Bohr qu'on va amorcer la naissance d'une nouvelle logique. La complémentarité des concepts qu'il introduit est une chose inédite en logique. En effet, « *L'usage de concepts complémentaires, imposé en microphysique par la dualité des phénomènes quantiques, a été quelquefois présenté*

²⁴² Ibid., p85.

²⁴³ Idem.

²⁴⁴ Idem.

comme portant atteinte aux principes logiques apparemment les mieux assurés, ceux de contradiction et d'identité »²⁴⁵. Les quanta, (qui présentent tantôt un aspect corpusculaire tantôt un aspect ondulatoire), sont toujours en mouvements très rapides et donc ultrasensibles, ne se laissent pas apprivoiser. Chaque tentative d'étude laisse apparaître des paradoxes au niveau logique. Car chaque tentative de précision de l'un des aspects fait perdre la précision sur l'autre. De plus, les mêmes expériences répétées sur eux dans les mêmes conditions donnent des résultats différents : il y a donc imprévisibilité et donc perte du déterminisme. Ainsi donc :

« Devant la situation embarrassante créée par la coexistence du photon et de l'onde lumineuse, Bohr avait déjà invoqué la nécessité, pour la pensée, de modifier ses habitudes en faisant appel à un nouvel instrument d'intelligibilité, celui des concepts « complémentaires ». Ce sont des couples de concepts mutuellement conciliables, et néanmoins également indispensables pour nous représenter une même réalité : ils s'excluent et s'appellent tout à la fois. Bohr montre que l'usage de cette notion est imposé par l'existence même du quantum d'action, et donc qu'il faut nous accoutumer à en faire usage dans tout le domaine microphysique. De fait, on verra se multiplier, en physique quantique, les couplages en complémentarité : point de vue géométrique et point de vue dynamique, description spatio-temporelle et déterminisme causal, mécanique des matrices et mécanique ondulatoire, individu et système, dualité des descriptions d'interaction, etc. Mais bientôt, allant plus loin, Bohr généralise l'emploi de la nouvelle notion et en trouve des applications dans d'autres domaines : par exemple, en biologie, avec l'aspect physico-chimique et l'aspect biologique global, ou en psychologie où l'introspection nous fait assister à ce chassé-croisé de l'observant et de l'observé. Il présente alors cette notion comme une sorte de catégorie nouvelle, qui doit s'ajouter aux catégories traditionnelles et en assouplir le maniement »²⁴⁶.

Voilà donc un bouleversement, un fait nouveau et déconcertant : jamais on n'avait imaginé pareil « scandale ». Voilà les toutes puissantes lois logiques établies depuis des siècles qui se voient ébranlées, non plus superficiellement comme on l'a vu par les travaux de certains logiciens, mais la secousse va jusqu'à leur essence même. Avec la complémentarité élaborée par Bohr, « nous formons ainsi un couple de concepts incompatibles entre eux, mais qui se complètent mutuellement et dont l'union est nécessaire pour exprimer intégralement le réel »²⁴⁷. Ce qu'il importe de comprendre c'est que, la complémentarité des concepts, et la fragilisation des lois logiques traditionnelles qu'elle a entraîné appelaient à une réforme de la logique. C'est ce qu'ont réclamé Brouwer et Heyting du point de vue mathématique et les logiciens eux-mêmes, pour que la logique puisse parfaitement s'adapter aux nouveaux domaines de recherche à l'instar de la physique quantique, car les lois logiques traditionnelles à leur niveau, étaient devenues caduques. Robert Blanché illustre cela en affirmant que :

²⁴⁵ Ibid., p. 86.

²⁴⁶ Ibid., p. 87.

²⁴⁷ Ibid., p. 89.

« La réforme logique réclamée par Brouwer et Heyting était inspirée par les besoins du travail mathématique. Mais de leur côté les logiciens aussi se sont mis, cette fois pour des raisons d'ordre purement logique, à élaborer des systèmes « non classiques », qui modifient ou rejettent telles ou telles thèses de la logique russellienne – laquelle, on s'en souvient, conservait les grandes lois logiques traditionnelles »²⁴⁸.

Avec l'avènement de la physique quantique, « le surgissement de ces logiques non classiques était devenu inévitable »²⁴⁹. On devait désormais admettre la pluralité des logiques et l'unité de la raison.

III- COMPLEMENTARITE ENTRE CONCEPTS PHYSIQUES ET HASARD

Dans cette partie de notre travail, nous allons tenter de mettre en relief la relation ou corrélation qui existe entre la complémentarité des concepts théorisée par Bohr et le hasard. Mais avant d'y arriver, nous allons d'abord explorer, avec un anachronisme assumé, la pensée de Erwin Schrödinger dans *De l'ancien atomisme aux discontinuités quantiques*. Cet anachronisme se justifie par le fait que, Schrödinger (qui écrit après Bohr), apporte des éléments qui devaient précéder la pensée de Bohr. En effet, Schrödinger vient démontrer que la matière est discontinue et que les constituants ultimes de la matière n'ont pas d'identité. Il fait remarquer qu'au temps du Dieu-non-joueur-de-dés, les physiciens en partant de

« Démocrite et tous ceux qui l'ont suivi dans ces jusqu'à la fin du XIX^e siècle n'avaient jamais suivi la trace d'un atome individuel et pourtant ils étaient convaincus que les atomes sont individuels, identifiables, qu'ils sont de petits corps en tous points semblables aux objets résistants et palpables qui nous entourent (...) Selon la vieille conception, leur individualité était fondée sur l'identité des matériaux dont elles sont faites (...) - Les physiciens en étaient arrivés à formuler très nettement l'exigence à laquelle doit répondre une description vraiment claire et complète de tout événement physique : elle doit nous informer de façon précise de ce qui se passe en chaque point de l'espace à chaque moment du temps – bien entendu à l'intérieur du domaine spatial et de la portion de temps couverts par les événements physiques que l'on désire décrire. Nous pouvons appeler cette exigence le postulat de continuité de la description »²⁵⁰.

Schrödinger a démontré qu'avec l'avènement de la physique quantique, cette exigence de continuité et cette individualité des atomes deviennent insoutenables. A partir de l'équation qui porte son nom, Schrödinger a démontré que la matière est discontinue :

« C'est cette habitude de pensée que nous devons rejeter. Nous ne devons pas admettre la possibilité d'une observation continue. Les observations doivent être considérées comme des événements discrets, disjoints les uns des autres. Entre elles il y a des

²⁴⁸ *Ibid.*, p. 98.

²⁴⁹ *Ibid.*, p. 100.

²⁵⁰ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, pp. 291-293.

lacunes que nous ne pouvons combler. Il y a des cas où nous bouleverserions tout si nous admettons la possibilité d'une observation continue. C'est pourquoi j'ai dit qu'il vaut mieux ne pas regarder une particule comme une entité permanente, mais plutôt comme un événement instantané. Parfois ces événements forment des chaînes qui donnent l'illusion d'être des objets permanents, mais cela n'arrive que dans des circonstances particulières et pendant une période de temps extrêmement courte dans chaque cas particulier... »²⁵¹.

Ces développements de Schrödinger, démontrant que la matière est discontinue et que les particules élémentaires n'ont pas d'individualité, viennent soutenir et justifier la complémentarité des concepts défendue par Niels Bohr. Car « *l'équation de Schrödinger décrit donc l'évolution temporelle de la fonction d'onde dans l'espace des configurations, et non – comme des lois de force de Newton ou de Lorentz* »²⁵². Ce point de vue est encore illustré par Michael Esfeld qui soutient que :

« La fonction d'onde quantique est un paramètre de champ. Elle met en évidence le fait qu'il est problématique d'accorder un statut ontologique aux champs (...) En physique quantique, la fonction d'onde n'est pas définie sur l'espace physique à trois dimensions ou quatre dimensions, mais sur l'espace mathématique de configurations (...) Ce fait ouvre la possibilité de ne reconnaître à la fonction d'onde qu'un statut de paramètre dynamique, et non pas un statut ontologique selon lequel la fonction d'onde serait un objet physique en plus des éléments de l'ontologie primitive »²⁵³.

Le fait qu'on ne puisse pas accorder un statut ontologique à une particule quantique amène à renoncer à l'ontologie traditionnelle, c'est-à-dire celle d'Aristote. Cette renonciation de l'ontologie traditionnelle a pour conséquence l'ébranlement de certains principes logiques. C'est donc dans cette optique que Niels Bohr, comme un « prophète », a démontré qu'en microphysique, l'usage de concepts complémentaires est inhérent à la nature des particules ; il nous est imposé par la dualité onde-corpuscule. Dans le deuxième chapitre de notre travail, nous avons démontré que la dualité onde-corpuscule était source du paradigme de la relativité. En clair, c'est la dualité onde-corpuscule qui est source du hasard. Ce hasard pour être théorisé ou expliqué a besoin d'un langage nouveau. Car nos concepts familiers s'avèrent très limités. Robert Blanché note que, devant ces innovations – subjectivité, indétermination, complémentarité – qui bouleversent nos habitudes intellectuelles, il serait nécessaire, selon l'interprétation probabiliste, de rompre avec nos vieilles habitudes intellectuelles :

« Au lieu de vouloir à toute force appliquer nos anciens concepts, appropriés à notre expérience de la zone moyenne des phénomènes, à un domaine tout nouveau, il nous

²⁵¹ *Ibid.*, pp. 293-294.

²⁵² M. Esfeld, *Philosophie des sciences*, p201.

²⁵³ *Ibid.*, p. 229.

faut abandonner ou rectifier ces concepts, quelque violence que cela impose à nos habitudes de pensée afin de les adapter à ce nouveau domaine »²⁵⁴.

En effet, dans le règne du Dieu-non-joueur-de-dés, les concepts créés étaient fonction du déterminisme et de la causalité. Or,

« Ce qui caractérise la théorie quantique, c'est qu'elle apporte une limitation essentielle aux concepts de la physique classique dans leur application aux phénomènes atomiques (...) Ce postulat nous oblige à renoncer à une description à la fois causale et spatio-temporelle des phénomènes atomiques. Car dans notre description ordinaire des phénomènes naturels, nous admettions en dernière analyse que l'observation d'un phénomène ne lui causait aucune perturbation essentielle. C'est bien ce que montre également l'énoncé de la théorie de la relativité, qui a tant contribué à élucider les théories classiques »²⁵⁵.

En physique quantique au contraire, toute observation d'un phénomène entraîne une perturbation et une interaction entre l'instrument et le phénomène observé. Ainsi se perd la notion de neutralité de l'instrument. Robert Blanché soutient à cet effet que :

« Le postulat quantique, d'autre part, exprime que toute observation des phénomènes atomiques entraîne une interaction finie avec l'instrument d'observation ; on ne peut par conséquent attribuer ni aux phénomènes ni à l'instrument d'observation une réalité physique autonome. De toute façon, le concept d'observation contient un élément arbitraire : il dépend essentiellement du choix des objets comptés comme faisant partie du système observé »²⁵⁶.

Dans ce contexte, il devient impératif de renoncer à toute description causale et spatio-temporelle des phénomènes atomiques, il devient donc urgent de penser à la notion de complémentarité comme le souligne Robert Blanché :

« Somme toute, pour tenir compte du postulat quantique dans la description des phénomènes atomiques, nous devons développer une « théorie de la complémentarité », dont la non-contradiction ne peut être jugée qu'en confrontant les possibilités de définition et les possibilités d'observation. Cette conception s'impose déjà dans la question controversée de la nature de la lumière et des particules matérielles élémentaires. En ce qui concerne la lumière, sa propagation dans le temps et dans l'espace est décrite d'une manière satisfaisante par la théorie électromagnétique. En particulier, le principe de superposition des ondes rend compte sans exception aussi bien des phénomènes d'interférences dans le vide que des propriétés optiques de la matière. Néanmoins, pour arriver à une expression exacte de la conservation de l'énergie et de l'impulsion dans l'interaction entre rayonnement et matière telle qu'elle apparaît dans l'effet photo-électrique et dans l'effet Compton, il faut recourir à l'idée de photon développée par Einstein. Cette contradiction apparente avait même fait douter un moment du caractère rigoureux du principe de superposition, ainsi que de la validité générale des théorèmes d'énergie et d'impulsion ; mais ces doutes ont été définitivement dissipés par des expériences directes. Cette situation montre bien l'impossibilité d'une description causale et spatio-temporelle des phénomènes lumineux. Si nous voulons étudier les lois de la propagation des actions lumineuses

²⁵⁴ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 286.

²⁵⁵ *Ibid.*, p. 287.

²⁵⁶ *Ibid.*, pp. 287-288.

dans l'espace et dans le temps, nous sommes réduits, en raison du postulat quantique, à des considérations statistiques »²⁵⁷.

Le recours aux considérations statistiques illustre davantage que le domaine quantique est un domaine où règne le hasard. Les particules quantiques sont non localisables, il n'y a donc rien et rien du tout qui puisse justifier le principe de causalité. Nous pouvons donc affirmer avec Robert Blanché que : *« évidemment, si l'idéal d'une représentation continue, sans lacunes, s'écroule, cette formulation précise du principe de causalité s'écroule également »²⁵⁸*. Notons que le langage, les concepts sont très importants dans la description et la compréhension d'un phénomène comme l'avait bien souligné Robert Blanché : *« toute compréhension, scientifique ou non, dépend de notre langage, de la communication des idées ; toute description des phénomènes, des expériences et de leurs résultats, repose sur le langage comme seul moyen de communication »²⁵⁹*. La communication se révèle ici comme un outil indispensable : une mauvaise communication entraîne une mauvaise description et une mauvaise communication. Cela était déjà vrai en science classique, cela l'est davantage en physique quantique : le langage en physique quantique doit être très fin, très subtile ; la dualité onde-corpuscule est très difficile à exprimer. Car c'est le règne du hasard, un hasard imbattable. C'est en cela que Niels Bohr a innové. Il est l'un des rares scientifiques à avoir compris que le langage qu'il fallait pour rendre compréhensible et intelligible la physique quantique devait rompre avec celui de la physique classique. En effet, si l'ontologie classique, la logique classique sont devenues caduques en physique quantique, il est clair qu'un changement de langage s'imposait également. C'est donc la complémentarité des concepts de Bohr qui nous a permis de comprendre la physique quantique.

²⁵⁷ *Ibid.*, p. 289.

²⁵⁸ *Ibid.*, p. 294.

²⁵⁹ *Ibid.*, p. 307.

Dans ce chapitre, nous avons vu qu'en science Dieu pouvait mourir. Car nous sommes passés du règne du *Dieu-non-joueur-de-dés* à celui du *Dieu-joueur-de-dés*. Retenons que, sous le règne du *Dieu-non-joueur-de-dés*, parler de hasard en science était un scandale, un blasphème. Mais avec la prise de pouvoir du *Dieu-joueur-de-dés*, l'incertitude, le hasard et le tâtonnement ont reçu le statut d'anges, et les anges les plus proches de Dieu. Cette prise de pouvoir a eu plusieurs conséquences. L'une d'elle est logique. Car jusqu'à une certaine époque, on pensait que la logique n'avait pas d'histoire, étant créée achevée par Aristote. La révolution quantique est venue déconstruire le caractère immuable qu'on attribuait à certains principes logiques. Le fait qu'on ne puisse pas accorder un statut ontologique à une particule quantique amène à renoncer à l'ontologie traditionnelle, c'est-à-dire celle d'Aristote. Cette renonciation de l'ontologie traditionnelle a pour conséquence l'ébranlement de certains principes logiques. C'est donc dans cette optique que Niels Bohr, comme un « prophète », a démontré qu'en microphysique, l'usage de concepts complémentaires est inhérent à la nature des particules ; il nous est imposé par la dualité onde-corpuscule.

**TROISIEME PARTIE : LA FECONDITE THEORIQUE DU HASARD ET DU
TATONNEMENT EN SCIENCE**

Dans cette dernière partie de notre travail, nous allons mettre en relief le caractère fécond du hasard et du tâtonnement en science. Nous allons démontrer que ceux qui avaient méprisé et considéré le hasard et le tâtonnement comme des obstacles à l'évolution de la science ont eu tort (comme Hippocrate et Einstein). Nous découvrirons dans cette partie que le hasard et le tâtonnement sont des éléments incontournables en science, surtout en microphysique. En effet, le hasard et le tâtonnement apparaissent comme des catalyseurs de la recherche. Car ils sont une source de renouvellement constant des théories scientifiques. Ils viennent renforcer et crédibiliser la thèse de Gaston Bachelard (dans *Essai sur la valeur approchée*) selon laquelle la science n'est qu'une valeur approchée de la vérité. Ensuite, ils montrent l'urgence de la critique, le caractère imparfait et incomplet des instruments, et le caractère non absolu de la méthode. L'approximation est donc bénéfique en science : elle est fructueuse car susceptible d'un développement infini. Enfin, le lecteur découvrira que le hasard et le tâtonnement ont une incidence positive sur la philosophie : ils sont source de renouvellement de la pensée philosophique et illustrent la nécessité de l'ouverture de la philosophie aux autres sciences par la voie de la transdisciplinarité.

CHAPITRE VII : HASARD ET TATONNEMENT : DES CATALYSEURS DE LA RECHERCHE

La science est une entreprise qui est par nature perfectible. Et sur le chemin de la perfectibilité, la recherche devient urgente voire impérative. Friedrich Ebert Stiftung fait remarquer que, « *la recherche scientifique vise à mettre en lumière de nouvelles informations ou à en vérifier d'anciennes afin d'augmenter ou de vérifier les connaissances* »²⁶⁰. Mais à la question de savoir qu'est-ce qui fait avancer la science, certains épistémologues soutiennent que ce sont les erreurs et les obstacles qui font avancer la science. Nous y voyons là les positions défendues par Popper et Bachelard. Pour Kuhn, ce sont les *énigmes* que le paradigme ou la théorie rencontre lorsqu'on l'applique au réel qui font avancer la science. Ces *énigmes* poussent le savant ou le scientifique soit à réajuster son paradigme ou bien le remplacer tout simplement. Tous ces points de vue sont valables. Sauf qu'ils ne montrent pas de façon claire le caractère urgent d'une réforme ou d'une révolution. Voilà pourquoi nous voulons ajouter, modestement, aux travaux de ces éminents chercheurs l'action du hasard et du tâtonnement dans le progrès de la science. En physique, en effet, tout travail de recherche devrait désormais reposer sur le postulat du dynamisme et de la non-inertie du réel : la découverte des quanta nous y oblige. Rappelons-le, ce dynamisme et cette non-inertie sont causés par la dualité onde-corpuscule, laquelle est source du paradigme de la relativité. Cette relativité nous impose à considérer le hasard et le tâtonnement lorsque nous voulons rendre compte du réel et à prévoir ou prédire son évolution. Le concept catalyseur contenu dans le titre de notre chapitre est emprunté au vocabulaire chimique. En chimie moderne, notamment celle qui est apparue au début du XX^{ème} siècle, le catalyseur est un élément indispensable. Car,

*« il n'est guère de produit chimique d'importance industrielle dont la synthèse ne nécessite l'emploi d'aucun catalyseur (...) Le catalyseur est le médiateur indispensable qui active, oriente, sélectionne la réaction chimique et qui permet l'obtention dans des conditions raisonnables du produit désiré »*²⁶¹.

C'est le catalyseur qui active une réaction chimique tout en augmentant la vitesse de cette réaction chimique. Ce sont ces sens d'activateur et d'accélérateur de réaction qui nous importent

²⁶⁰ F. E. Stiftung, « Méthodologie de la recherche scientifique », in <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/beirut/12954.pdf>, 2016, p. 6.

²⁶¹ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 163.

dans notre travail. Nous voulons démontrer dans ce chapitre que, le hasard et le tâtonnement montrent l'urgence du renouvellement des théories scientifiques ou des paradigmes ; et que, par eux, ou grâce à eux (ou à cause d'eux) le travail scientifique est par nature un travail partiel.

I- HASARD ET TATONNEMENT : SOURCE DU RENOUVELLEMENT CONSTANT DES THEORIES

Lorsqu'un physicien s'attaque au réel, il sait déjà ce qu'il veut chercher ou prouver. Cette sélection est déjà en soi, une source de renouvellement de sa théorie. Mais ce n'est pas ce qui nous intéresse ici. Ce qui nous intéresse c'est l'action que peuvent avoir le hasard et le tâtonnement dans le processus de renouvellement des théories scientifiques. Nous-mêmes nous faisons là une sélection, un choix. Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, la réalité de la matière ne se trouve pas dans sa dimension macroscopique mais davantage dans sa dimension microscopique ; Bernard d'Espagnat ayant démontré que le monde macroscopique n'a qu'une existence fantomatique. Et au niveau microscopique toutes les lois du niveau macroscopique deviennent tout simplement obsolètes, car les deux mondes n'ont pas de commune mesure. Dans le monde microscopique ou mieux quantique, c'est un hasard imbattable qui règne, tout est donc aléatoire. Car comme l'avait souligné Bernard d'Espagnat, une particule quantique n'est pas en soi une réalité. En clair donc, le monde quantique repose sur un fond d'irréalité. La question qu'on pourrait donc se poser est celle de savoir comment l'irréel, le fictif arrive à provoquer et à accélérer le renouvellement des théories scientifiques ? Nous pouvons répondre en affirmant que, le hasard quantique étant imbattable, tout discours sur celui-ci est donc toujours éphémère, relatif, non absolu. Dès que l'on intègre cela, on admet donc que, dès qu'une théorie naît, déjà elle est assez vieille pour être remplacée. Sa durée de vie correspond au temps que le scientifique met pour prouver son obsolescence ou sa désuétude. En ce qui concerne le monde quantique, la recherche devrait être permanente car le hasard et le tâtonnement qui le gouvernent nous demandent de renouveler constamment nos théories avec une vitesse bien supérieure à celle qui préside au renouvellement des théories au niveau macroscopique. Le temps de vie d'une théorie portant sur le monde macroscopique très supérieur au temps de vie d'une théorie portant sur le monde quantique ou microscopique. Ceci s'explique par le fait que, le principe du déterminisme est quasi parfait au niveau macroscopique et celui de l'indéterminisme est la règle d'or du niveau quantique. C'est donc ici qu'apparaît bien le sens du concept catalyseur. En science, en effet, il y a toujours un dialogue entre théorie

et expérience. C'est l'un des critères qui permet de caractériser l'activité scientifique. C'est cet aller-retour entre théorie et expérience qui permet l'avancée de la science. Car la réalité empirique montre toujours les insuffisances de la théorie. Celle-ci doit donc être réajustée ou remplacée. C'est ce qui fait dire à Ludovic Bot que « *la science est une tension permanente entre deux sources d'erreurs : notre perception de la réalité extérieure et notre recherche d'une cohérence interne à notre vision du monde* »²⁶². En physique quantique, cet aller-retour entre théorie et expérience s'effectue à une vitesse très élevée. Car comme nous l'avons souligné plus haut, l'objectivité en physique quantique est faible à cause du hasard qui le gouverne. Quand donc l'esprit humain rencontre le hasard, il se met à tâtonner pour élaborer une théorie. Et la probabilité pour que cette théorie soit « fiable » comme celle de la physique classique est très faible. Il devient donc urgent pour le scientifique de faire un retour constant et incessant sur la réalité. Car sur les expériences faites, l'effort de théorisation et de mathématisation peut s'avérer très limité à un intervalle de temps très limité. Ceci a une conséquence majeure sur une autre caractéristique de l'activité scientifique à savoir la reproductivité des faits et la prédiction. En effet,

*« La science commence quand l'histoire devient reproductible. Il est alors possible de classer les faits en phénomènes et de mener à bien un effort d'abstraction pour expliquer les faits et les relier entre eux par des lois(...) L'abstraction engendre ensuite la prédiction de faits nouveaux et vérifiables. Par conséquent, l'explication scientifique est sans cesse testée sur de nouveaux faits, sur de nouvelles prédictions, qui la renouvellent lorsque des écarts avec la prédiction sont constatés »*²⁶³.

La reproductibilité des faits et la prédiction sont très faibles en physique quantique. Ce que Ludovic Bot veut démontrer c'est que la répétitivité et la prévisibilité sont très faibles en physique quantique ; c'est-à-dire qu'en physique quantique, du fait du hasard, les théories élaborées sont le fruit d'un tâtonnement de notre esprit. Il devient incertain de répéter et de prévoir avec la précision souhaitée. Le temps de renouvellement ou de réajustement d'une théorie devient très court par conséquent. L'histoire de la cybersécurité, des cyberattaques, de la cybercriminalité, qui s'est accélérée avec la physique quantique, en est une illustration parfaite : il faut tous les jours réviser, réajuster ou remplacer avec une vitesse éclair ses mots de passe, ses codes secrets pour ne pas exposer son entreprise ou son pays. Ainsi, « *le rapport au temps de la science est donc tout à fait particulier, ce n'est pas le temps historique ou linéaire, ni le temps cosmique ou mythique, mais le temps cyclique des phénomènes, le temps de l'expérience à reproduire* »²⁶⁴. C'est aussi le temps du renouvellement des concepts et de la

²⁶² L. Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, p. 292.

²⁶³ *Ibid.*, p. 296.

²⁶⁴ *Idem.*

recherche de leur pertinence et de leur efficacité. « *Dans la science d'aujourd'hui, la pertinence des concepts va de pair avec celle des niveaux de description* »²⁶⁵. Car le bazar de la réalité comporte de nombreuses échoppes, et chacune d'elle a sa propre version de la réalité physique. Tout compte fait, le hasard et le tâtonnement accélèrent le temps de renouvellement des théories scientifiques. C'est en cela qu'ils sont appelés des catalyseurs de la recherche.

II- DU CARACTERE PARTIEL D'UN TRAVAIL SCIENTIFIQUE

En logique, la méthode par tâtonnement est moins certaine que la méthode par déduction ou par induction. Le tâtonnement repose sur le hasard et la probabilité. En effet, si certains scientifiques s'étaient lancés à la recherche effrénée d'une formule qui expliquerait l'ensemble des faits de l'univers, c'est parce qu'ils croyaient en l'absence du hasard : on était à l'ère du *Dieu-non-joueur-de-dés*. Or ce tâtonnement s'avère être indispensable pour la compréhension du milieu quantique. L'ambition d'une formule générique avait été remise en cause et rejetée avec la prise de pouvoir du *Dieu-joueur-de-dés*.

En essayant de mettre en lumière les caractéristiques de la science dans son ouvrage *Philosophie des sciences de la matière*, Ludovic Bot cite en quatrième et en cinquième position « une généralité toujours précaire » et « quelque chose qui échappe ».

En ce qui concerne la généralité toujours précaire, il nous apprend que :

*« Le quatrième critère réside dans l'état toujours précaire de la généralité prêtée à la validité des explications scientifiques. La science procède souvent par généralisations progressives. Elle croit ainsi induire des concepts toujours plus universels, mais qui se révèlent avec le temps n'être que des cas particuliers de concepts encore plus universels »*²⁶⁶.

La physique quantique nous donne de comprendre qu'aucune généralité ne peut être prêtée à une théorie scientifique. Le milieu *in vivo* de la matière contient une infinité de niveaux élémentaires avec des spécificités propres. Il devient ainsi impossible pour le scientifique de comprendre tous les contours de la matière. A cause du tâtonnement, aucune théorie scientifique ne saurait être éternelle. Elle naît avec les germes de sa mort. Le tâtonnement a une forte dose d'imagination et d'a priori. En effet,

²⁶⁵ *Ibid.*, p. 297.

²⁶⁶ *Ibid.*, p. 299.

« Une théorie scientifique n'est jamais exempte d'a priori sur la nature, même si ces a priori sont souvent implicites et inconscients. La force de la science est de savoir faire évoluer ces a priori quand un impertinent, les rendant explicites, en a montré soit l'incohérence, soit l'incompatibilité avec les faits prédits puis observés. Les a priori sont donc précaires »²⁶⁷.

Comme l'avait démontré Hilbert et Klein,

« Le formalisme de la physique quantique opère au sein d'espaces vectoriels abstraits qui peuvent avoir un nombre infini de dimensions et sont de fait fort éloignés de l'espace physique dans lequel ont lieu les événements que ce formalisme prétend décrire. Cette émancipation vis-à-vis de l'espace physique ordinaire instaure donc une distance entre la représentation des phénomènes et les phénomènes eux-mêmes, distance au sein de laquelle viennent s'engouffrer toutes sortes de questionnement inédits »²⁶⁸.

Ainsi, la distance entre la représentation des phénomènes et les phénomènes eux-mêmes, couplée à la forte dose d'a priori rend l'objectivité très faible. En effet, l'une des forces de la physique classique résidait dans le fait que la distance entre la représentation des phénomènes et les phénomènes eux-mêmes était faible car le formalisme était fondé sur des espaces vectoriels proches des réalités quotidiennes. Ceci eut pour conséquence le déterminisme avec pour corollaire l'objectivité forte. En physique quantique donc, le travail scientifique échappe à toute volonté holistique car le scientifique ne peut voir tout ce qui se passe au niveau *in vivo*, nous voulons dire au niveau quantique. Voilà pourquoi la généralité sera toujours ici une erreur fatale, un obstacle à la connaissance du milieu quantique. Car par nature, quelque chose nous échappera toujours. C'est le cinquième caractère que Ludovic Bot attribue à la science. Il dit en effet :

« Le cinquième critère est l'inaptitude de la science à embrasser le tout de ce qu'elle étudie. Quelque chose échappe toujours à la connaissance scientifique, sans qu'il soit possible de dire quoi ni à quel niveau, puisque cela échappe. Lorsque le scientifique observe, il dissèque, il sépare, il transforme, il intervient. Tout cela n'est pas sans conséquence sur la nature de sa connaissance »²⁶⁹.

François Rothen dans son ouvrage *Aux limites de la physique : Les paradoxes quantiques*, fait remarquer que le développement de la science est imprévisible à cause du fait que le réel glisse toujours entre les mains du scientifique. Il est fuyant et ne se laisse pas toujours apprivoiser. Cela est plus remarquable au niveau quantique, la dualité onde-corpuscule en est la cause. La physique quantique a ouvert, les yeux au monde. Elle nous offre une multitude de possibilités dans la cryptographie, ce qui a remis en cause la cryptographie du mathématicien Hardy. Dans cette multitude de possibilités, le piratage est plus fort paradoxalement, d'où la pratique

²⁶⁷ *Idem.*

²⁶⁸ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, p. 69.

²⁶⁹ L. Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, p. 300.

intensive du doute qui nous fait constater que tout travail scientifique n'est que partiel. C'est ce qui amène Ludovic Bot à soutenir que :

« L'activité la plus proche de l'activité scientifique est probablement l'enquête de police. Le scientifique mène ses enquêtes en interrogeant la matière à l'aide d'appareils de mesure, de protocoles expérimentaux, et de cadres théoriques d'où il tire la formulation de ses questions, mais les deux attitudes sont proches sur le plan intellectuel. Scientifiques et policiers pratiquent le même culte du doute de ce qu'on leur dit être la vérité. Non pas qu'on leur mente sciemment ou qu'ils n'aient pas confiance dans leur interlocuteur. Si toutefois des menteurs viennent à se présenter, on sait de toutes façons que leurs mensonges disent toujours une partie de la vérité »²⁷⁰.

Ce que nous voulons relever ici c'est que, le doute est consubstantiel à l'activité scientifique, et plus encore en physique quantique. Car comme nous l'avons souligné plus haut, la dualité onde-corpuscule nous interdit toute prétention à l'absoluité, et que, surtout, la dimension macroscopique du réel n'est qu'illusion et diversion. En tout cas, c'est l'idée que défend Bernard D'Espagnat au onzième chapitre de son ouvrage intitulé *A la recherche du réel*. Il démontre que, ne s'en tenir qu'à la dimension macroscopique et prétendre qu'on a expliqué le réel est une illusion. La dimension macroscopique n'offre qu'une vue très approximative de la réalité. C'est lorsqu'on pénètre le monde *in vivo* qu'on commence à se rapprocher de la vérité. Dans le monde *in vivo*, on rencontre les atomes, les électrons, les quanta... C'est en les étudiant qu'on commence à comprendre ce qu'est la matière et partant le monde. Là aussi, la vérité n'est pas donnée. Il faut se méfier du comportement des quanta. Ils présentent toujours un double aspect : un aspect corpusculaire qu'on peut expliquer avec l'équation de Newton et un aspect ondulatoire qu'on explique avec l'équation de Schrödinger. Même si nous savons que la vérité se trouve au niveau *in vivo*, l'avoir n'est donc pas chose facile. Les quanta, du fait de leur double aspect, sont de bons menteurs : ils se plaisent à nous présenter autre chose, après insistance d'ailleurs, que ce qu'on leur demande. C'est donc à ce niveau que l'enquête scientifique doit être plus rigoureuse, les appareils de mesure plus sophistiqués et le cadre théorique plus précis. Ceci dit, avec la physique quantique, la pratique du doute doit être comme le souffle et la nourriture du scientifique. Toute conclusion, tout résultat obtenu est par nature parcellaire, incomplet et insatisfaisant.

III- HASARD ET TATONNEMENT COMME HYPOTHESES DE LA CRITIQUE EN SCIENCE ET EN PHILOSOPHIE

²⁷⁰ *Ibid.*, pp. 300-301.

Marcien Towa dans son ouvrage *Essai sur la problématique philosophique dans l'Afrique actuelle* fait remarquer que « science et philosophie ont par suite la même exigence, le même critère de vérité (...) Mais les sciences reposent sur un principe qui leur est commun avec la philosophie qui consiste à voir, sentir, penser par soi-même, à être soi-même »²⁷¹. Comme nous l'avons souligné au premier chapitre de notre travail, la science est en marche. Il ne pourrait y avoir une science caractérisée par l'immutabilité. La science est donc critique par nature tout comme la philosophie. Fondée sur la raison, la science progresse par ses erreurs. La critique est donc indispensable en science. On appelle critique, une activité spécifique de la raison par laquelle celle-ci analyse, opère des partages, des discernements, et porte des jugements. Dans *La philosophie de A à Z*, Laurence Hansen-Love nous apprend que :

*« La critique renvoie à une activité spécifique de la raison : opérer des partages, des discernements, et porter des jugements. La critique, c'est la raison dans sa dimension juridique : elle apparaît comme censeur et juge, séparant le bon grain de l'ivraie, distinguant le vrai du faux, le bon du mauvais. C'est au XVIII^e siècle surtout (philosophie des Lumières) que s'est développée l'idée d'une soumission nécessaire de tous les objets aux normes d'une rationalité une et universelle : il convenait alors de dénoncer au tribunal de la raison tout ce qui, dans la religion, les mœurs, la politique, prétendait faussement à la légitimité et ne relevait en fait que de l'arbitraire et de l'historique »*²⁷².

La critique est donc suspension temporaire du jugement, prendre du recul, de la hauteur. Elle est aussi une dénonciation, une remise en question, une élucidation.

A partir des travaux scientifiques de Claude Bernard, on a compris l'importance des hypothèses dans les sciences expérimentales. D'ailleurs, ces sciences doivent en partie leur nom au concept hypothèse. C'est en effet l'hypothèse qu'on vérifie expérimentalement ou qu'on observe systématiquement. Aussi, au fil du temps, l'hypothèse s'est imposée dans la quasi-totalité des sciences. Cette omniprésence de l'hypothèse est un désaveu à cette déclaration d'Isaac Newton : « Je ne forge pas d'hypothèses ». Car pour Newton, la science ne suppose pas, elle ne tâtonne pas. Une hypothèse est donc par définition une

*« Explication (théorique) conditionnelle et anticipée des faits, qui demande toujours une vérification expérimentale (...) Contrairement à l'affirmation de Newton (« Je ne forge pas d'hypothèses »), elles sont des idées préconçues qui doivent guider l'investigation. Mais elles ne sont pas, pour autant, des idées fixes : c'est l'observation des faits qui, en définitive, décide de la vérité d'une hypothèse »*²⁷³.

²⁷¹ M. Towa, *Essai sur la problématique philosophique dans l'Afrique actuelle*, Yaoundé, Clé, 2018, p. 68.

²⁷² L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 103.

²⁷³ *Ibid.*, p. 214.

Ainsi, affirmer que le hasard et le tâtonnement sont des hypothèses de la critique en science et en philosophie revient à dire qu'au fondement de la critique se trouveraient le hasard et le tâtonnement. En physique quantique ou atomique, du fait que l'esprit tâtonne en présence du hasard, les affirmations ne sont jamais péremptoires, la marge de certitude est infime. François Rothen l'exprime si bien lorsqu'il écrit :

« Le physicien, quant à lui, a parfaitement le droit de s'aventurer au-delà des faits observés et d'affirmer que le comportement du photon individuel est dicté par les seules lois de la probabilité. Il pourrait toujours revenir sur une telle affirmation le jour où un fait nouveau la contredirait. Quand un photon a été transmis, dit le physicien, il ne porte en lui aucune étiquette qui ferait de lui un photon spécial. Lorsqu'il aborde une nouvelle lame, il n'a pas de mémoire. Il se contente de faire appel aux dieux du hasard, un mot qui vient de l'arabe azzahr et qui signifie dé »²⁷⁴.

En effet, comme « *le hasard n'a ni mémoire ni conscience* »²⁷⁵, alors les affirmations en physique quantique ne peuvent être que d'un caractère provisoire très élevé. Dans ce contexte, la critique devient omniprésente, et comme fille du hasard et du tâtonnement.

Un autre élément et même très important qui conforte l'idée selon laquelle le hasard et le tâtonnement sont des hypothèses de la critique en science et en philosophie est le chat de Schrödinger et l'onde énigmatique de Schrödinger. En ce qui concerne l'expérience du chat de Schrödinger que nous avons déjà suffisamment élucidée, il en ressort que nous ne savons pas si le chat est vivant ou bien mort. Nous sommes dans un tâtonnement à interprétations incertaines. L'onde énigmatique de Schrödinger est tout aussi complexe, difficile à cerner et à interpréter. Le comportement de cette onde nous fait tergiverser, fait appel à une imagination très forte. Car on ne sait pas quelle est sa véritable nature, et ce qu'elle devient lorsqu'elle passe d'une lame de l'expérience à une autre, ou ce qu'elle devient après avoir traversé une fente. Ainsi, « *le comportement probabiliste du photon possède une vertu cardinale* »²⁷⁶. Il permet de nous dire quelle est la véritable nature de l'onde de Schrödinger.

« Schrödinger en arrive à imaginer que la particule est douée de masse, au lieu d'être concentrée en un point de l'espace, se dissout alentour à mesure que la « densité » de la fonction d'onde ψ en fait de même (une densité ne pouvant qu'être réelle et non négative, Schrödinger associe la densité de la particule au carré de son amplitude) »²⁷⁷.

Ce que nous devons comprendre c'est que, le comportement d'une particule quantique recèle une communication discrète et secrète pour laquelle une multitude d'hypothèses d'interprétation est possible. Cela est dû par sa nature dualiste, à la fois onde et corpuscule. A

²⁷⁴ F. Rothen, *Aux limites de la physique : Les paradoxes quantiques*, p. 105.

²⁷⁵ *Ibid.*, p. 104.

²⁷⁶ *Ibid.*, p. 106.

²⁷⁷ *Idem.*

en croire Bernard d’Espagnat, une particule quantique est une idéalité. Tout discours sur elle doit être relatif. Cette relativité est fondée sur sa nature dualiste. A cause de cette relativité, tout discours sur une particule quantique devient douteux. Car qui parle de relativité ici fait allusion au hasard.

La physique quantique est source de crédibilité de la critique à l’endroit de Gauss qui en son temps avait imaginé et pensé une science pure, à l’abri des passions et du tâtonnement humain. « *Cette science dont Gauss est censé apprécier la pureté à l’abri des passions avilissantes, c’est la théorie des nombres qui traite des propriétés des entiers* »²⁷⁸. Et les mathématiciens se réjouissaient de cette science qui renforçait la croyance au fait que, les mathématiques sont le prototype des sciences exactes. Mais cette réjouissance était à la fois précipitée et éphémère. La théorie des nombres fut associée au codage, à la cryptographie et là, elle ne fut plus soustraite aux vicissitudes du hasard. François Rothen écrit à cet effet que « *la théorie des nombres n’a pas les mains aussi propres que Hardy aurait pu le souhaiter* »²⁷⁹. Aucune science n’est pure, si on considère le hasard comme une souillure. L’irruption du hasard dans la théorie des nombres en est une parfaite illustration. C’est à partir de cette irruption inattendue et heureuse du hasard dans la théorie des nombres qu’elle a commencé à être critiquée. Le hasard a en effet exposé ses lacunes et ses insuffisances.

La fécondité théorique du hasard provient donc du fait qu’il vient révéler la valeur d’une science. Au lieu de le considérer comme une souillure, comme le pensaient ou le pensent encore plusieurs scientifiques et philosophes, le hasard devrait plutôt être chéri et vénéré. Il devient comme le critère de scientificité. Ivar Ekeland avait fort bien remarqué que la science appartient au hasard. En tant que révélateur des erreurs et des souillures d’une science, le hasard implique donc la critique. Car dès qu’une insuffisance est révélée et exposée, il devient urgent de la rectifier ou de la corriger à travers l’esprit tâtonnant. Le principe d’incertitude de Heisenberg illustre que le hasard est d’une importance capitale en science. C’est la raison d’être et l’âme de la science dont Planck fut le pionnier. « *Que l’incertitude soit érigée en principe, voilà qui tranche avec le scientisme du 19^e siècle qui annonçait le triomphe imminent d’une science capable de résoudre tous les problèmes pour le plus grand bonheur de l’humanité* »²⁸⁰. C’est l’omniprésence du hasard dans la physique contemporaine qui pousse le scientifique et le philosophe à une conceptualisation et à une théorisation pointue et sophistiquée. Le physicien

²⁷⁸ *Ibid.*, p. 222.

²⁷⁹ *Ibid.*, p. 223.

²⁸⁰ *Ibid.*, pp. 125-126.

devient comme un philosophe car l'esprit doit faire preuve d'inventivité et de créativité pour tenter d'expliquer ce qui se dérobe sans cesse, ce qui est en réalité une idéalité. Robert Blanché l'illustre bien en ces termes :

« Il n'en demeure pas moins que, dans la physique contemporaine, la part de la construction intellectuelle l'emporte de plus en plus sur l'élément empirique. Le savant, pour reprendre une formule de P. Langevin, se libère progressivement des chaînes pesantes de la sensation. Certes, la physique reste toujours une science expérimentale. Mais les expériences sur lesquelles elle s'appuie n'ont plus qu'un rapport lointain avec la donnée sensorielle. Car les phénomènes qu'étudie le physicien ont cessé d'être τα φαινόμενα, les apparences qui se manifestent à nos sens ; ce sont des élaborations théoriques dans lesquelles l'apport sensoriel n'a d'autre rôle que de les susciter ou de les contrôler (...) Les objets de la physique actuelle ne ressemblent en rien à ces choses encore matérielles qu'étaient, au siècle dernier, les atomes ou l'éther. Ils sont devenus, dit Schrödinger, « de pures configurations », où la forme remplace la substance »²⁸¹.

Cette inventivité et cette créativité font appel à une métaphysique, où le physicien se lance dans l'exploration de l'irréel. Cela expose naturellement à la critique car tout ce que le scientifique avance n'est que pur tâtonnement.

Avec le problème de la mesure en physique quantique, nous comprenons que « les mesures n'ont pas de résultats uniques : à la fin d'une mesure, le chat de Schrödinger n'est pas soit vivant soit mort, mais dans un état de superposition entre être vivant et être mort »²⁸². Cette incertitude est source d'erreur et donc hypothèse de critique. Ainsi, le hasard et tâtonnement sont venus balayer toute tentative de monisme et de conservationnisme qui sont des manifestations du dogmatisme scientiste. Pour qui comprend que tout est aléatoire, l'esprit devrait toujours être ouvert à la critique. Car chaque fois qu'on a produit une pensée, elle devient, à cause du hasard, susceptible d'être critiquée. Car nous avons vu que hasard et tâtonnement étaient des catalyseurs de la recherche.

En effet, « en physique classique, un objet peut être soit une particule, soit une onde ; il ne peut être les deux »²⁸³. En physique quantique, un quantum présente les deux aspects. Cette dualité onde-corpuscule était la plus grande difficulté de Bohr et Heisenberg. Pour Heisenberg,

« L'aspect corpusculaire était dominant dans la dualité onde-corpuscule (...) Bohr croyait qu'il fallait trouver un moyen d'autoriser l'existence simultanée des particules et des ondes dans toute description complète des processus atomiques. Réconcilier ces deux concepts contradictoires était pour lui la clé qui ouvrirait la porte à une interprétation physique cohérente de la mécanique quantique »²⁸⁴.

²⁸¹ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, pp. 266-267.

²⁸² M. Esfeld, *Philosophie des sciences*, p. 211.

²⁸³ M. Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, p. 280.

²⁸⁴ *Ibid.*, p. 281.

Mais comment trouver une interprétation cohérente puisque la particule possède une trajectoire et pas l'onde ? Heisenberg se souvint que, lors d'une discussion avec Einstein, celui-ci avait déclaré que « *c'est la théorie qui décide de ce que nous pouvons observer. Mais comment la théorie décidait-elle de ce qui peut et de ce qui ne peut pas être observé ? La réponse était le principe d'incertitude* »²⁸⁵. C'était la clé, une grande découverte devrions-nous dire :

*« Heisenberg avait découvert que la mécanique quantique interdit, à un instant donné, la détermination précise simultanée de la position et de la quantité de mouvement d'une particule. Il est possible de mesurer exactement soit où se trouve un électron soit à quelle vitesse il se déplace, mais pas les deux à la fois. C'était le prix exigé par la Nature pour connaître exactement l'une de ces valeurs. Plus l'une était connue avec précision, moins l'autre pouvait l'être »*²⁸⁶.

Voilà une découverte qui avait ouvert la voie au tâtonnement. Car rien n'est précis dans la découverte de Heisenberg. C'est également le retour en force de l'imagination en science. En effet, pour connaître dans le domaine quantique en particulier, l'esprit doit s'envoler vers les cimes par le pouvoir de l'imagination. Et dans la multitude des possibilités trouvées en imaginant, l'esprit opère des choix en tâtonnant. Napoléon avait coutume de dire que « *l'imagination gouverne le monde* ». C'est aussi conscient du pouvoir de l'imagination qu'Einstein avait affirmé que « *l'imagination est plus importante que la connaissance car la connaissance est limitée tandis que l'imagination englobe le monde entier, stimule le progrès, suscite l'évolution* » ou encore que « *l'imagination vous mènera partout* ». Nous comprenons en effet que, l'imagination est condition de possibilité de connaissance. L'illustration nous est donnée par Heisenberg qui, « *dans le laboratoire de son esprit, il effectua une série d'expériences de pensées imaginaires où il serait possible de mesurer simultanément la quantité de mouvement et la position avec une précision que ce principe disait impossible* »²⁸⁷. L'imagination va de pair avec le tâtonnement. Car dans la multitude des possibilités que nous présente l'imagination, on opère généralement des choix en tâtonnant. Et ces choix qu'on opère ne sont pas toujours certains. C'est donc ce qui ouvre la voie à la critique. Car on pourrait bien démontrer plus tard que tel choix mis à l'écart est plus plausible ou bien plus en conformité avec le réel que celui initialement choisi. Ainsi, en physique quantique, le rêve déterministe d'une science prédictive se trouve balayé. En effet,

« si la physique classique permet en théorie de déterminer de manière unique le comportement futur d'un système à partir de son état initial, la quantique, au contraire,

²⁸⁵ *Ibid.*, p. 283.

²⁸⁶ *Ibid.*, p. 284.

²⁸⁷ *Idem.*

nous incite à penser que l'indéterminisme est à l'œuvre dans l'univers. Autrement dit, la nature elle-même ne saurait pas ce qu'elle fera l'instant d'après »²⁸⁸.

Jusqu'à présent, nous n'avons pas connu de découverte en physique aussi difficile à formaliser et à théoriser comme ce fut ou c'est le cas avec la physique quantique. Le hasard s'avère fuyant. Dès qu'on pense l'avoir saisi, il nous présente un nouvel aspect. Lorsque Heisenberg théorisa le principe d'incertitude, il pensait avoir tout compris. En effet, quelque temps après, Bohr lui opposera la complémentarité des concepts. Manjit Kumar, dans son ouvrage *Le grand roman de la physique quantique*, l'exprime de façon très claire :

« Tandis qu'à Copenhague Heisenberg s'affairait à explorer les conséquences du principe d'incertitude, Bohr, sur les pistes enneigées, eut l'intuition de la complémentarité. Pour lui, ce n'était pas une simple théorie, mais le cadre conceptuel – jusqu'ici manquant – nécessaire pour décrire la nature insolite de l'univers quantique. La complémentarité, estimait Bohr, pouvait héberger la nature paradoxale de la dualité onde-particule »²⁸⁹.

Pour Bohr, les relations d'incertitude étaient limitées car elles impliquaient

« qu'il fallait faire un choix entre ce que Bohr appelait une description « causale » fondée sur les lois de la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement (E et p dans les relations d'incertitude) et une description « spatio-temporelle » dans laquelle les événements se suivent dans l'espace et le temps (q et t) »²⁹⁰.

Cette limite est due au fait que Heisenberg avait écarté volontairement ou involontairement les ondes et la continuité. Les critiques de Bohr avaient amené Heisenberg à revoir et à réajuster son principe d'incertitude. On voit comment le hasard a commandé le renouvellement et le réajustement de la pensée de Heisenberg.

Au chapitre trois de son ouvrage *Le grand roman de la physique quantique*, Manjit Kumar nous présente des titans qui s'affrontent au sujet de la réalité. Il fait allusion au congrès de Solvay de 1927. Ce qui est très intéressant, c'est que, en réalité, ce congrès était au fond, un congrès sur le hasard. Il s'agissait soit de donner au hasard un statut scientifique, soit alors de le rejeter. En effet,

« Tous les scientifiques invités au cinquième congrès de Solvay sur les « Electrons et photons » savaient qu'il était conçu pour traiter les problèmes les plus pressants du jour, qui relevaient plus de la philosophie que de la physique : la signification de la physique quantique. Qu'est-ce que cette nouvelle physique révélait de la réalité ? Bohr croyait avoir trouvé la réponse. Pour beaucoup, il était arrivé à Bruxelles en tant que roi du quantum, mais Einstein était le pape de la physique »²⁹¹.

²⁸⁸ https://www.science-et-vie.com/auteur/auteurs-redaction_samp_v

²⁸⁹ M. Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, p. 295.

²⁹⁰ *Ibid.*, p. 297.

²⁹¹ *Ibid.*, p. 314.

Selon Einstein, le hasard n'existe pas, « Dieu ne joue pas aux dés ». Bohr ne sera pas de cet avis. Pour lui, « Dieu joue aux dés ». Bohr était arrivé à la conclusion selon laquelle la dualité onde-corpuscule était source du paradigme de la relativité, donc du hasard. Donc pour Bohr « Dieu joue aux dés ». Des années après Bohr, Stephen Hawking dira que « *Einstein avait eu tort de dire que Dieu ne joue pas aux dés. La considération des trous noirs suggère, non seulement que Dieu joue aux dés, mais qu'il nous embrouille parfois en les jetant là où ils ne peuvent pas être vus* »²⁹². Dans les sciences de la matière particulièrement, la critique est rendu possible par la présence du hasard dans le réel, et par le caractère tâtonnant de l'esprit face à ce hasard. Le chercheur butte devant l'incertitude, alors il ne peut que donner des approximations, des partialités qui portent déjà en elles des germes de la critique.

²⁹² <https://blogs.mediapart.fr>.

Comme nous l'avons souligné dans notre introduction, la science est une entreprise qui est par nature perfectible. Dans sa quête de perfectibilité, elle a besoin de la critique. La critique incite à la recherche. Disons même que la science, la philosophie se nourrit aussi de la critique. Car science et philosophie repose sur le même principe : la raison. Dans ce chapitre, opportunité nous a été donnée de démontrer que c'est le hasard et le tâtonnement qui fondent la critique. Ainsi donc, hasard et tâtonnement apparaissent comme des mains invisibles qui font avancer la recherche. Ils sont source du renouvellement constant des théories, et par eux nous comprenons qu'un travail scientifique est toujours partiel, imparfait car le hasard quantique est imbattable.

CHAPITRE VIII : LA SCIENCE : UNE VALEUR APPROCHÉE DE LA VÉRITÉ

Les philosophes antiques avaient de l'aversion pour le hasard comme nous l'avons démontré dans les chapitres précédents. Ils aimaient plus les certitudes que les approximations. Même s'il leur arrivait de tenir des discours sur l'approximation ou la valeur approchée, celle-ci n'avait, à proprement parlé, pas un statut scientifique. Dans le modèle de science théorisé par Aristote dans les *Seconds analytiques*, la probabilité et l'approximation n'avaient pas de place. Mais les approximations ont commencé scientifiquement après Aristote avec Archimède au III^{ème} siècle avant Jésus-Christ, du moins, si nous suivons l'évolution de la science grecque. « Archimède possède essentiellement une formation d'ingénieur orienté vers une sorte de géométrie de la mesure »²⁹³. Dans ses travaux de mesure, Archimède utilisait déjà le nombre π qui n'avait pas une valeur exacte. Il est donc le premier à nous donner une valeur approchée du nombre π . Dominique Lecourt écrit en effet qu'Archimède « réussit à trouver grâce à la méthode d'encadrement par des rapports de périmètres de polygones et du diamètre un encadrement de π par les rapports 22 septièmes et 223 soixante et onzièmes »²⁹⁴. A partir du XIII^{ème} siècle, les médiévaux à l'instar de Saint Thomas d'Aquin vont commencer à adresser de légères critiques à la science aristotélicienne. En effet,

« Dans la période médiévale, saint Thomas d'Aquin admettait déjà que la certitude relève du probable (...) Thomas rend compte de cet affaiblissement de la certitude, et de l'introduction d'une forme de faillibilité de notre accès au vrai, en introduisant la notion de certitude probable (*certitudo probabilis*) »²⁹⁵.

Dans la modernité et plus fort encore entre le XIX^{ème} et le XX^{ème} siècle, l'approximation est devenue incontournable en science. Elle tient une place centrale en mathématique, en physique et en chimie.

« Il y a un siècle, l'épistémologie de l'approximation tenait une place importante dans la réflexion des savants, en particulier des physiciens et physiciens mathématiciens. Ceux-ci, préoccupés par l'établissement des conditions auxquelles les théories mathématiques peuvent être appliquées aux phénomènes physiques, plaçaient l'approximation au cœur de leurs recherches méthodologiques »²⁹⁶.

²⁹³ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 84.

²⁹⁴ *Ibid.*, p. 85.

²⁹⁵ C. Grellard, « Probabilisme et approximation du vrai au XIV^e siècle », in <https://books.openedition.org/psorbonne/6640?lang=fr>, p. 65.

²⁹⁶ A. Barberousse, « La valeur de la connaissance approchée. L'épistémologie de l'approximation d'Emile Borel », pdf, in <https://shs.hal.science/halshs-00775581>, 2005, révisé le 03/01/2008, p. 53.

Elle s'avère être une condition nécessaire et indispensable pour le physicien. Car elle donne sens à la vérité scientifique. En effet,

« Une déduction mathématique n'est pas utile au physicien tant qu'elle se borne à affirmer que telle proposition, rigoureusement vraie, a pour conséquence l'exactitude rigoureuse de telle autre proposition. Pour être utile au physicien, il lui faut encore prouver que la seconde proposition reste à peu près exacte lorsque la première est à peu près vraie »²⁹⁷.

Loin d'être une anomalie, l'approximation est même ce qui fait la beauté et ce qui rend fécond la science : *« l'activité scientifique trouve sa source dans l'impossibilité de la connaissance exacte »²⁹⁸*. A la question de savoir qu'est-ce que l'approximation nous dirons que c'est une estimation par laquelle l'esprit approche la vérité sans s'attacher à l'exactitude rigoureuse. Dans le Vocabulaire technique et critique de la philosophie, André Lalande définit l'approximation comme *« caractère de ce qui est approché »²⁹⁹*. En science, Approché

« Se dit proprement d'une grandeur voisine de la grandeur réelle, substituée à celle-ci quand elle est impossible ou inutile à connaître rigoureusement, ou à exprimer d'une manière exacte (...) Plus généralement, caractère d'une connaissance déjà valide, mais qui n'est pas définitive, et qui est appelée à devenir plus parfaite, plus adéquate à son objet »³⁰⁰.

Dans le présent chapitre, il sera fondamentalement question pour nous de démontrer non seulement que tout résultat scientifique est essentiellement une valeur approchée de la vérité, mais aussi et surtout de montrer le caractère fécond de la valeur approchée ou de l'approximation en science.

I- DE L'INCOMPLÉTUDE CONSTATE DES INSTRUMENTS DE MESURE

Un instrument de mesure est fait ou fabriqué sur la base d'une théorie : on dit alors que c'est une théorie matérialisée. En science, notamment dans les sciences de la matière, l'instrument est fondamental. Il est à la base de la construction de la vérité scientifique. A partir des travaux de Galilée, nous avons compris qu'on ne peut plus se contenter des sens pour avoir la vérité. L'expression « illusion d'optique » démontre que les sens sont limités, donc trompeurs. L'instrument est le sens perfectionné : c'est pourquoi, quand l'instrument a parlé, le sens se tait. *« L'instrument scientifique, dont le rôle est crucial dans l'accroissement du savoir,*

²⁹⁷ *Ibid.*, p. 57.

²⁹⁸ *Ibid.*, p. 58.

²⁹⁹ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 73.

³⁰⁰ *Ibid.*, p. 72.

est ainsi ancré dans la vie profane et matérielle »³⁰¹ est indispensable et incontournable en science. Sans instrument donc, pas de vérité scientifique certaine, ou du moins, on est à des années lumières de la vérité scientifique. Les sens sont, en effet, très limités. La fabrication des microscopes en est un exemple patent : « *dès lors que l'homme ne se contente plus d'observer à l'aide des cinq sens, il cherche des adjuvants pour surmonter leurs limitations dans l'exploration de la nature* »³⁰². Dès lors, qu'est-ce qu'un instrument ? On peut définir un instrument dans les sciences de la matière comme étant un outil, un appareil au moyen duquel le scientifique peut acquérir des données de mesure ou d'observation à une échelle bien définie. « *Le terme d'instrument renvoie donc de façon générale à l'usage d'un objet fabriqué assujéti à une fin : l'instrument scientifique n'est qu'un stratagème parmi d'autres (...) Les instruments sont devenus de véritables acteurs dans le champ de la recherche* »³⁰³. C'est fort de ce caractère incontournable que qu'on parle d'instrumentalisme en philosophie des sciences. C'est une « *doctrine développée par M. John Dewey, dont le trait caractéristique est d'admettre que toute théorie est un outil, un instrument pour l'action et la transformation de l'expérience* »³⁰⁴. Ainsi, avec John Dewey nous comprenons qu'il y a deux types d'instruments : les instruments physiques (microscopes, pied à coulisse par exemple) et les théories. Si l'aspect interventionnel semblait prédominer depuis la Renaissance, l'épistémologie moderne rappelle qu'un instrument sert à la fois et simultanément la connaissance et l'action. A la différence des sciences humaines et sociales qui utilisent plus les instruments théoriques, les sciences expérimentales utilisent les deux types d'instrument :

*« Le recours aux instruments est en effet indissociable de l'activité scientifique lorsque celle-ci se fait expérimentale, comme l'attestent les portraits qui, depuis la Renaissance au moins, représentent les savants dans l'exercice de leurs activités, entourés de sphères, de fioles, de compas. L'essor des instruments scientifiques au XVII^e s'a amené ces derniers à réfléchir sur les conditions de validité des observations effectuées avec leur aide »*³⁰⁵.

Depuis la modernité jusqu'à nos jours, leur importance s'est accrue. Les instruments font désormais partie intégrante du constructivisme scientifique et épistémologique :

« Les instruments ont ainsi acquis une place importante dans la démarche constructiviste de la philosophie contemporaine des sciences puisqu'ils offrent un moyen privilégié d'accéder aux pratiques qui fondent la science, et diffusent dans la société par des réseaux. Les instruments, par les compétences et les brevets qu'ils impliquent pour leur fabrication et leur amélioration, participent directement à la

³⁰¹ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 633.

³⁰² *Idem.*

³⁰³ *Idem.*

³⁰⁴ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 520.

³⁰⁵ D. Lecourt, *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, p. 634.

compétition qui caractérise la science moderne. La possession d'un instrument sophistiqué donne en effet une position de monopole au groupe d'experts rassemblés autour de lui et joue un rôle décisif dans la formation d'une discipline »³⁰⁶.

Les instruments scientifiques sont loin d'être parfaits, ils ont toujours besoin d'être perfectionnés ou remplacés. Le terme incomplétude avait été « créé par Pierre Janet, pour désigner un sentiment d'inachevé, d'insuffisant, d'incomplet que les malades dits « psychasthéniques » éprouvent à propos de leurs pensées, de leurs actes, de leurs sensations ou de leurs émotions »³⁰⁷. Il a ensuite été utilisé en logique par Kurt Gödel qui a forgé deux théorèmes concernant ce concept.

« Le théorème d'incomplétude de Gödel est un résultat fondamental de la logique mathématique qui dit que tout système « suffisamment puissant » admet nécessairement un énoncé qu'il ne peut ni démontrer, ni réfuter. Si le résultat est bien connu de la communauté mathématique en général, sa preuve l'est beaucoup moins, car elle est très technique »³⁰⁸.

Démontré en 1931, donc trois décennies après la découverte des quanta par Max Planck, ce théorème est fondamental et marque un changement majeur et radical en logique mathématique :

« Lors de son introduction, l'incomplétude logique a bouleversé la conception des mathématiques. Elle a notamment réfuté la croyance de David Hilbert – même si ce dernier ne l'a jamais clairement reconnu – en l'existence d'une théorie du tout pour les mathématiques, c'est-à-dire d'un ensemble fini de principes à partir desquels toutes les vérités mathématiques peuvent se déduire. Elle a aussi permis de répondre par la négative au deuxième problème de Hilbert, qui demandait si l'on peut démontrer la « consistance » de l'arithmétique (...) Un deuxième théorème d'incomplétude, déduit du premier, a montré que c'est impossible »³⁰⁹.

Que disent les théorèmes d'incomplétude de Gödel ? Le premier théorème s'énonce comme suit :

« Si T est une théorie du premier ordre cohérente, récursivement axiomatisable et contenant l'arithmétique de Robinson (PA), alors T est incomplète, en ce sens qu'il existe une formule close G dans le langage de T telle qu'aucune des formules G et $\neg G$ n'est conséquence des axiomes de T »³¹⁰.

Le second théorème s'énonce de la manière suivante : « Si T est une théorie du premier ordre cohérente, récursivement axiomatisable et contenant l'arithmétique de Peano (PA), alors la

³⁰⁶ *Ibid.*, p. 635.

³⁰⁷ A. Lalande, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, p. 486.

³⁰⁸ J. Fortier, « Une preuve moderne du théorème d'incomplétude de Gödel », in <https://www.amq.math.ca/wp-content/uploads/bulletin/vol56/no3/05-godel.pdf>, 2016, p1.

³⁰⁹ J-P Delahaye, « L'incomplétude, le hasard et la physique », in <https://www.cristal.univ-lille.fr/profil/jdelahay/pls:2012:216.pdf>, le 03/01/2012, p. 3.

³¹⁰ A. Miquel, « Les théorèmes d'incomplétudes de Gödel », in <http://perso.ens-lyon.fr/natacha.portier/enseign/logique/GoedelParAlex.pdf>, Bulletin AMQ, Vol. LVI, n°3, 2016, p. 1.

formule « *ConsT* » (qui dans le langage de *T* exprime la cohérence de la théorie *T*) n'est pas une conséquence des axiomes de *T* »³¹¹. En logique mathématique, les théorèmes d'incomplétude traitent du rapport fondamental entre vérité et démontrabilité et surtout établissent de façon formelle que ces deux concepts sont fondamentalement différents. Les théorèmes d'incomplétude de Gödel ont révolutionné l'informatique car ils font référence au codage et à la numérisation. On y voit là une sorte de hasard.

Appliquée en physique, l'incomplétude advient au niveau des théorèmes et au niveau des instruments. C'est d'ailleurs l'incomplétude instrumentale qui nous intéresse d'ailleurs. On parle d'incomplétude en physique instrumentale lorsqu'un instrument de mesure, déjà opérationnel, ne donne pas les résultats avec la précision et la clarté souhaitées. Cet instrument est toujours comme incomplet, imparfait. C'est en physique quantique que l'incomplétude instrumentale est plus prononcée. La physique quantique exige des instruments très sophistiqués. Cette exigence de sophistication concerne les qualités instrumentales suivantes : la justesse, la fidélité, la précision et la sensibilité. Car le domaine quantique est ultra-sensible et très aléatoire. En physique, un instrument de mesure est dit fiable lorsqu'il donne des résultats précis et répétables. Cet idéal est loin d'être atteint en physique quantique ; c'est un domaine où le hasard règne en maître. La dualité onde-corpuscule, source de la relativité, nous fait toujours avoir des résultats imprécis lors de nos différentes opérations. L'appareil de mesure ne peut pas cerner cette dualité avec précision. Quand on parle d'incomplétude des instruments, on fait allusion à la notion d'erreur systématique. On appelle erreur systématique toute erreur liée à l'instrument de mesure, c'est-à-dire que celui-ci ne donne pas des résultats précis, car il est imparfait et incomplet. Ce qu'il faudrait retenir c'est que, les instruments en physique sont par nature imparfaits et incomplets : comme les théories, ils ont besoin d'être affinés. Il semble donc impossible d'avoir des instruments qui décrivent parfaitement et avec précision un fait pratique. Mais cela ne signifie pas que les résultats donnés par l'instrument sont des faussetés. Ces résultats ne sont ni des vérités absolues ni des faussetés, mais des vérités approchées. Comme nous l'avons souligné plus haut, l'activité scientifique trouve sa source dans l'impossibilité de la connaissance exacte. En science, c'est l'approximation qui donne sens au concept de vérité. C'est pour cette raison qu'on peut affirmer sans risque d'être démenti que l'approximation est consubstantielle à la vérité scientifique. C'est fort de ce constat qu'Anouk Barberousse avait écrit : « *Aussi longtemps que le concept de vérité n'est pas saisi à partir du*

³¹¹ *Idem.*

*concept d'approximation, il reste nécessairement vide. Car seul le processus d'approximation est à notre portée, jamais l'idéal même »*³¹².

II- DE L'OUVERTURE PERMANENTE DES PARADIGMES A LA CRITIQUE

C'est par la critique que la science se distingue de la religion. Ainsi, tout paradigme non critiquable, non réfutable est non scientifique, c'est un dogme. Car la science est par nature une connaissance approchée. Qui dit connaissance approchée sous-entend un perfectionnement ultérieur ; ce perfectionnement n'est que l'œuvre de la critique. C'est ainsi que l'épistémologie de l'approximation s'est dressée contre la connaissance exacte et complète : « *au cœur de la réflexion de Borel sur la science, on trouve une critique en règle de la notion de connaissance exacte et de son pendant, la notion de connaissance complète* »³¹³. Dans la paradigmatologie (étude scientifique des paradigmes, leur mise en place, leur apport, leur mode de remplacement), Popper, Kuhn et Bachelard occupent une place de choix. Chacun d'eux a, à sa manière, démontré que les paradigmes scientifiques sont imparfaits, provisoires, donc critiquables. La critique est le moteur d'évolution de la science. Dans les sciences expérimentales, la critique se situe à deux niveaux : la critique des théories et la critique des instruments qui aboutit à leur perfectionnement.

Chaque théorie scientifique est une connaissance approchée. Or selon Bachelard, « *l'approximation paraît toujours réglée, réellement et sûrement progressive, susceptible d'un développement infini* »³¹⁴. Le développement en ce qui concerne la connaissance du réel est donc infini. C'est pourquoi, dans notre travail, nous voulons redonner à la critique toute sa noblesse, d'affirmer qu'on ne saurait parler de science sans critique. La critique des théories est une tâche très ardue : elle consiste en un travail d'épuration des théories en vue de leur ajustement ou de leur remplacement. En science, la critique nous fait comprendre qu'aucune théorie n'est éternelle. C'est pourquoi Mouchili Njimom pense qu'à voir comment fonctionne la science, il ne pourrait y avoir de connaissance éternelle et immuable. En posant que toute connaissance scientifique n'est qu'une approximation, le travail du scientifique devient donc

³¹² A. Barberousse, « La valeur de la connaissance approchée. L'épistémologie de l'approximation d'Emile Borel », p. 61.

³¹³ *Ibid.*, p. 59.

³¹⁴ G. Bachelard, *Essai sur la connaissance approchée*, Paris, Vrin, 1969, p. 9.

par nature imparfait et incomplet. Dans ces conditions, toute théorie s'expose à la critique, ou bien, c'est par sa capacité d'être critiquable qu'une théorie ou un paradigme est qualifié de scientifique. La pensée critique permet d'identifier les écueils, les obstacles et les énigmes liés à l'applicabilité d'une théorie.

Au niveau des sciences de la matière, c'est la découverte de la physique quantique par Max Planck qui a accentué la critique et montré son importance en science. On a compris avec l'expérience du rayonnement du corps noir par Planck, la dualité onde-corpuscule, la complémentarité des concepts par Bohr, les incertitudes de Heisenberg que le physicien devrait faire de la critique son outil de découverte. Sans cette critique, on n'aurait pas compris que la science est gouvernée par le hasard. Avec elle, le vocabulaire scientifique s'est développé, les instruments nouveaux sont nés, la vie des hommes a changé. Dans son ouvrage *Essai sur la connaissance approchée* Gaston Bachelard fait remarquer que la connaissance scientifique est mobile et même fuyante. « Nous arrivons donc à ce paradoxe inattendu qui nous montre la connaissance mobile fuyante, et l'action qu'elle éclaire solide et assurée. La science est une énigme qui renaît, une solution amène un problème »³¹⁵. La connaissance n'est donc pas un fait statique, elle est toujours en mouvement et en mutation. Les solutions en science sont donc par nature provisoires. Un paradigme déjà établi porte en lui les germes de son changement ou de son remplacement. Un paradigme n'est jamais parfait, il est par nature une approximation. C'est dans la quête de sa précision par la critique que celui-ci se verra soit ajusté soit tout simplement remplacé. Dans les sciences de la matière, la critique tient aussi compte du fait que, « le réel, pour le chercheur, est nimbé de possible et l'étude du possible est une tentation contre laquelle le savant, si positif qu'il soit, se défend mal »³¹⁶. Pour toutes ces raisons, on ne voit pas comment un paradigme pourrait échapper à la critique. Plus encore, Poincaré avait déjà démontré des années avant Bachelard que la vérité est le but de l'activité scientifique. Mais à cause de l'incomplétude, du hasard et de la critique cette vérité sera qualifiée par Popper de *vérisimilitude*. La vérité scientifique heurte, elle est fuyante, mobile et énigmatique. Poincaré note que :

« La recherche de la vérité doit être le but de notre activité ; c'est la seule fin qui soit digne d'elle (...) Cependant quelquefois la vérité nous effraye. Et en effet, nous savons qu'elle est quelquefois décevante, que c'est un fantôme qui se montre à nous un instant que pour fuir sans cesse, qu'il faut la poursuivre plus loin et toujours plus loin, sans jamais pouvoir l'atteindre »³¹⁷.

³¹⁵ *Ibid.*, p. 150.

³¹⁶ *Idem.*

³¹⁷ H. Poincaré, *La valeur de la science*, Paris, Flammarion, 2005, pp. 3-4.

A en croire Poincaré, la vérité est comme un idéal, un idéal qui nous échappe, un fantôme qui se montre un instant puis disparaît à nouveau. Poincaré était donc déjà précurseur de l'épistémologie de l'approximation selon laquelle les notions de connaissance exacte et de connaissance complète ou achevée n'ont tout simplement pas de sens, car impossible à atteindre. La science, selon Poincaré, n'est exacte, exempte de critique et de doute que pour les observateurs superficiels et les profanes. Dans son ouvrage *La science et l'hypothèse*, Poincaré affirme en effet : « *pour un observateur superficiel, la vérité scientifique est hors des atteintes du doute ; la logique de la science est infaillible et, si les savants se trompent quelquefois, c'est pour en avoir méconnu les règles* »³¹⁸. Poincaré démontre pour la première fois, dans cet ouvrage, de façon systématique que la vérité scientifique n'est pas absolue, elle est appelée à changer, à être modifiée. Il systématise aussi la place de l'hypothèse, dans la recherche scientifique. Il écrit en effet : « *quand on a un peu plus réfléchi, on a aperçu la place tenue par l'hypothèse ; on a vu que le mathématicien ne saurait s'en passer et que l'expérimentateur ne s'en passe pas davantage* »³¹⁹. Au cœur de l'hypothèse se trouvent bien ancrés, le doute et la critique. On ne saurait construire une hypothèse sans une attitude de doute et de distanciation critique. Popper allant dans le même sens que Poincaré a théorisé le concept de vérisimilitude, démontrant une fois de plus que la science ne peut atteindre la connaissance exacte. Il dira que la science n'est ni certaine ni précise, elle n'est qu'hypothétique. La science selon Popper, avance par méthode critique, car le fait que la vérité soit par nature fuyante, nous invite à revoir, à corriger en permanence nos paradigmes.

La critique a ouvert, en science, la voie au relativisme épistémologique. Le relativisme épistémologique admet qu'une théorie ne saurait être valable *ad vitam, aeternam*. Il questionne donc l'objectivité et la validité d'un paradigme dans le temps. C'est une fois de plus l'expression de l'impossibilité pour le scientifique d'atteindre la précision absolue ou mieux, la vérité absolue. Parlant du relativisme épistémologique, retraçons son histoire à travers ces trois événements : le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme, de la géométrie euclidienne aux géométries non euclidiennes et la naissance de la physique quantique. Nous voulons montrer, à travers ces trois événements le caractère nécessaire de l'ouverture des paradigmes à la critique. Bien relaté par Alexandre Koyré dans son ouvrage *Du monde clos à l'univers infini*, le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme, qualifié de révolution copernicienne, fut l'affirmation et la démonstration par le polonais Nicolas Copernic que la terre n'est pas au centre du monde, mais

³¹⁸ H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 2005, p. 1.

³¹⁹ *Ibid.*, p. 2.

qu'elle est bien sur une orbite comme les autres planètes. Bien plus, l'anthropocentrisme qu'il impliquait fut remis en question :

« Selon l'interprétation traditionnelle de la révolution copernicienne, le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme nous aurait fait perdre nos position centrale, et donc privilégiée, dans le cosmos, pour nous reléguer sur une planète analogue aux autres et occupant une place quelconque à l'intérieur du système solaire »³²⁰.

Le passage du géocentrisme à l'héliocentrisme fut un basculement, un effondrement d'une façon de voir le monde et de le comprendre. Ce changement paradigmatique fut une tâche difficile car le géocentrisme était défendu par l'Eglise et les scientifiques dogmatiques. Il fallut le courage et la raison critique de Galilée pour démontrer la véracité des travaux de Copernic. Comme le géocentrisme, la géométrie euclidienne était elle aussi considérée comme un référentiel canonique, indépassable et non critiquable. Les géométries non euclidiennes sont un ensemble de théories géométriques rejetant ou modifiant les axiomes postulés par Euclide. Les tentatives de critique de la géométrie euclidienne commencent avec Proclus, Clavius, Clairaut et Simon pour ne citer que ces quatre mathématiciens, qui trouvaient déjà de sérieuses limites à la géométrie euclidienne. En effet,

« Beaucoup de géomètres (Proclus, Clavius, Clairaut, Simon etc) ne se sont pas satisfaits de devoir prendre le postulat d'Euclide comme un axiome et ont essayé de le prouver. Toutes ces tentatives ont été infructueuses, mais parfois intéressantes. Lorsqu'elles n'étaient pas évidemment fausses, elles revenaient le plus souvent : soit à donner une nouvelle définition de parallèle, soit à remplacer l'axiome d'Euclide par un autre »³²¹.

Mais les véritables critiques, celles qui vont révolutionner la géométrie et la science en général nous sont venues de Lobatchevsky, Poincaré et Riemann. Ils ont théorisé respectivement la géométrie hyperbolique (Lobatchevsky, Poincaré) et la géométrie elliptique (Riemann). Il avait donc fallu critiquer la géométrie euclidienne, pour avoir de nouvelles vérités en science, particulièrement dans le domaine de la géométrie. Ces géométries non euclidiennes furent le début d'une nouvelle ère pour la science, une nouvelle façon de voir le monde. Parlons enfin de la naissance de la physique quantique pour illustrer la nécessité de l'ouverture des paradigmes à la critique. Avant la physique quantique, c'est la physique classique qui régnait. Elle reposait sur le déterminisme, l'objectivité, l'uniformité des lois de la nature et la localité. Ces bases conceptuelles avaient forgé la vie de l'homme dans tous les domaines. Quand advint la physique quantique, tout cet édifice s'est effondré, ce n'était pas comme les effondrements

³²⁰ J-F. STOFFEL, « Géocentrisme, héliocentrisme, anthropocentrisme », in <https://philarchive.org>, 2001, p. 77.

³²¹ D. PERRIN, « Les géométries non euclidiennes », in <https://www.imo.universite-paris-saclay.fr/~daniel.perrin/Conferences/Romilly.pdf>, p. 7.

précédents, avec la physique quantique l'effondrement fut brutal, radical et total. Avec l'avènement de la physique quantique, nous sommes passés du déterminisme à l'indéterminisme, de l'objectivité forte à l'objectivité faible, de la localité à la non-localité, du règne de l'ordre à celui du hasard. La critique est fondamentale en science. C'est par elle que nous apercevons les erreurs et les limites, elle est au centre de la révolution scientifique.

III- HASARD ET TATONNEMENT : PRINCIPE D'UNE OBJECTIVITE NON ABSOLUE DE LA METHODE

En physique quantique, parler d'objectivité non absolue c'est faire allusion à l'objectivité faible, donc ce qu'on a obtenu par hasard et par tâtonnement. Bernard d'Espagnat dans son ouvrage *Traité de physique et de philosophie* fait remarquer que :

« il faut bien dire que l'objectivité seulement faible apparaît comme étant un des traits saillants de la physique contemporaine. Retenons sa définition : un énoncé est dit « à objectivité faible » quand il met la notion d'observateur en jeu mais se pose lui-même comme vrai pour n'importe quel observateur »³²².

La méthode est par définition la route ou le chemin qui conduit le chercheur à un but ou à un résultat escompté. Elle est plus exactement un « *ensemble de démarches, chemin suivi par l'esprit dans un travail de recherche, une investigation, une enquête (...) Programme réglé, ensemble de moyens déterminés et précis que l'esprit se fixe, puis s'impose de suivre afin de découvrir ou d'établir la vérité* »³²³. La méthode est donc, en science, un outil indispensable et incontournable. Son absence est une source d'égarement certaine. La méthode est un élément du paradigme. En effet, un paradigme est constitué des problèmes à résoudre, la méthode de résolution et les résultats possibles. Dès sa naissance, un problème épineux s'est posé aux scientifiques : comment interpréter la physique quantique ? Cette question a fait naître deux camps dans l'histoire de la physique quantique. Le camp Einstein, Podolsky et Rosen (EPR) et le camp Bohr et Heisenberg. En effet, « *dès 1930, la physique théorique a été secouée par un débat d'interprétations, alimenté par les points de vues contradictoires défendus par deux physiciens éminents, Einstein et Bohr* »³²⁴. Le paradoxe EPR est une expérience élaborée par Einstein, Podolsky et Rosen et publiée en 1935, dont le but principal était de remettre en

³²² B. d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, p. 111.

³²³ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 296.

³²⁴ A. Aspect, « Le « paradoxe » EPR », in https://www.physinfo.org/Info_Quantique/epr.pdf, p. 2.

question l'interprétation de la physique quantique mise sur pied par Bohr et Heisenberg. Cette expérience stipule que :

« En 1935, Albert Einstein, Boris Podolsky et Nathan Rosen rédigèrent un article (Phys.Rev.47, 777 (1935)) dans lequel ils proposaient une « expérience par la pensée » (Gedankenexperiment) conduisant à ce que l'on nomme souvent : le paradoxe d'EPR. En fait, ce nom est mal choisi ; il n'y a pas de paradoxe, puisqu'il n'y a pas de contradiction. Cet article traduisait la pensée d'Einstein, à savoir que l'interprétation orthodoxe de Copenhague était incompatible avec la réalité objective. Sur ce point Einstein avait raison. Mais cet article avait pour but principal de montrer que la théorie quantique est incomplète en son état actuel – il y a certains éléments objectifs de la réalité qu'elle ne décrit pas. Ainsi Einstein l'écrira plus tard, « je suis par conséquent enclin à croire que la description de la mécanique quantique....doit être considérée comme une description incomplète et indirecte de la réalité, qui devra un jour être remplacée par une interprétation plus complète et plus directe ». Etant donné qu'il n'existe aucune faille logique dans l'interprétation de Copenhague et qu'aucune expérience ne parvient à contredire les prévisions de la théorie quantique, comment EPR étaient-ils parvenus à cette étonnante conclusion ? Pour le comprendre, exposons au préalable, dans leurs grandes lignes, les hypothèses que EPR posèrent avant de décrire leur « expérience par la pensée ». L'hypothèse de l'existence d'une réalité objective signifie que le monde existe dans un état défini. Selon l'interprétation de Copenhague, élaborée par Niels Bohr et reprise par la plupart des physiciens, la théorie quantique invalide cette hypothèse ; Einstein & al pensait cependant que l'on ne peut pas rejeter l'idée que quelques propriétés mesurables du monde microscopique au moins puissent avoir une signification objective. Pour eux, aucune vision raisonnable de la réalité ne pouvait rejeter totalement l'objectivité ; l'objectivité était donc la première de leurs hypothèses. Einstein était profondément troublé par l'indéterminisme de la théorie quantique. Mais la raison pour laquelle il s'obstinait à refuser l'image de la réalité que lui offrait cette théorie était autre. Plus encore qu'au déterminisme, Einstein tenait au principe de causalité locale – des événements lointains ne peuvent faire sentir instantanément leur influence sur des objets proches sans qu'il y ait médiation, de quelque ordre qu'elle soit. Sans faire la moindre hypothèse relative au déterminisme ou à l'indéterminisme, la thèse d'EPR avait pour but de montrer que la théorie quantique viole le principe de causalité locale. C'est pourquoi l'argument EPR ébranla la confiance des physiciens qui, eux aussi, tenaient le principe de causalité locale pour une chose sacrée »³²⁵.

Vous nous pardonnerez la longueur de cette citation, mais elle était nécessaire pour la compréhension. La première conclusion est que, la description de la réalité donnée par la physique quantique n'est pas complète. La seconde est que, les deux quantités physiques incompatibles n'ont pas simultanément une réalité objective. Selon Bohr et Heisenberg, la physique quantique est fondamentalement liée au hasard, donc à la probabilité. Ce hasard provient de la dualité onde-corpuscule et des interactions entre l'objet et l'appareil de mesure. En effet,

« L'interprétation, dite de Copenhague, due à Heisenberg et à Bohr en 1927, est sommairement la suivante : • La réalité quantique est statistique et non pas certaine.

³²⁵D. Marchand, « Le « paradoxe » EPR & inégalités de Bell », in <https://cours.espci.fr/site.php?id=200&fileid=752>, pdf, p. 2.

L'univers microscopique ne nous est connu que sous forme de distributions statistiques de mesures, distributions qui peuvent être déterminées par la physique. • Parler des propriétés physiques d'un objet quantique sans spécifier très précisément le dispositif expérimental grâce auquel nous souhaitons le mesurer n'a pas de sens. La réalité quantique est en partie une réalité créée par l'observateur. Aucun phénomène n'est réel tant qu'il n'est pas observé. La théorie quantique indique que la structure du monde physique dépend de l'observation qui en est faite. En résumé, l'interprétation de Copenhague de la théorie quantique rejette le déterminisme pour lui préférer la nature statistique de la réalité ; de plus, elle rejette l'objectivité et soutient que la réalité matérielle dépend en partie de la façon dont nous choisissons de l'observer »³²⁶.

Einstein était favorable à la première conclusion de son expérience, rejetant la seconde car elle débouchait sur l'indéterminisme. Einstein était un fervent défenseur des bases conceptuelles de la science héritées depuis l'antiquité et canonisées par Newton et Laplace. Il voyait l'indéterminisme mais ne voulait pas y croire. Il ne voulait pas admettre que la science soit fondée sur le hasard et le tâtonnement :

« Einstein était profondément troublé par l'indéterminisme de la théorie quantique. Mais la raison pour laquelle il s'obstinait à refuser l'image de la réalité que lui offrait cette théorie était autre. Plus encore qu'au déterminisme, Einstein tenait au principe de causalité locale – des événements lointains ne peuvent faire sentir instantanément leur influence sur des objets proches sans qu'il y ait médiation, de quelque ordre qu'elle soit. Sans faire la moindre hypothèse relative au déterminisme ou à l'indéterminisme, la thèse d'EPR avait pour but de démontrer que la théorie quantique viole le principe de causalité locale. C'est pourquoi l'argument EPR ébranla la confiance des physiciens qui, eux aussi, tenaient le principe de causalité locale pour une chose sacrée »³²⁷.

Pour l'interprétation de Copenhague, c'est la deuxième conclusion de l'expérience EPR qui est juste et la première est fausse. Bohr et Heisenberg vont donc proposer une autre interprétation de cette expérience. Pour eux, comme le souligne si bien D. Marchand,

« Il existe une autre interprétation de cette même expérience – l'interprétation de Copenhague, qui nie l'objectivité du monde tant que l'on a pas effectué de mesure. L'initiateur de cette théorie, Bohr, dirait que la position et la quantité de mouvement de la particule 2 n'ont pas de signification objective tant qu'elles n'ont pas été directement mesurées et que, si l'on faisait effectivement ces mesures, on constaterait qu'elles obéissent à la relation d'incertitude de Heisenberg, en accord avec la théorie quantique. Ceci éviterait de conclure à une action à distance, c'est-à-dire à des interactions instantanées non locales. Contrairement à Bohr, Einstein, qui ne put jamais accepter l'idée d'une réalité créée par l'observateur, soutint que si la réalité est objective et la théorie quantique complète, alors il doit exister des effets non locaux. Mais comme par ailleurs il est impensable d'avoir à nier la causalité, Einstein en conclut que la théorie quantique était incomplète »³²⁸.

³²⁶ Ibid., p. 1.

³²⁷ Idem.

³²⁸ Ibid., p. 3.

Cette deuxième interprétation a permis de comprendre que la physique quantique n'était pas incomplète, mais aussi de conforter Bohr et Heisenberg sur le fait que la physique quantique relevait par nature du domaine du hasard et donc de l'indéterminisme.

Pendant plus de trois décennies, les scientifiques vont être partagés voire même déconcertés par l'article EPR. C'est ainsi que John Bell, physicien irlandais, lui aussi physicien réaliste comme Einstein, proposa un théorème fondé sur les variables cachées :

« Les physiciens s'interrogèrent pendant plus de 30 ans sur les conclusions de l'article EPR. Peut-être une autre réalité se dissimulait-elle par-delà la réalité quantique ? C'est à cette question fondamentale que s'attaqua en 1965 John Bell, physicien irlandais travaillant au CERN. Ses recherches ne faisaient pas appel au formalisme de la théorie quantique, mais directement à l'expérience et, dans son article de 1965, Bell proposait non pas une « expérience par la pensée » (gedankenexperiment), mais une expérience véritable, démontrant que le type d'incomplétude de la théorie quantique soupçonné par EPR n'était pas possible. Il n'y avait que deux interprétations physiques de l'expérience de Bell : soit le monde était non objectif et n'existait pas dans un état défini, soit il y avait non-localité et action à distance instantanée. L'article de Bell posait la question des variables cachées. Selon certains physiciens, la théorie quantique est d'une façon ou d'une autre incomplète et il existe une hypothétique théorie subquantique qui, sous la forme de variables cachées, contient des informations physiques supplémentaires sur l'état du monde. Si les physiciens connaissaient ces variables, ils pourraient prévoir le résultat d'une mesure donnée (au lieu de ne donner que des probabilités) et même déterminer simultanément la position et la quantité de mouvement des particules. Cette théorie subquantique permettrait un retour au déterminisme et à l'objectivité »³²⁹.

Mais même la solution proposée par John Bell va s'avérer insatisfaisante. A analyser son théorème de plus près, on constate que Bell restera sur la même lancée que Einstein :

« Que conclure de tout cela ? Qu'il faut définitivement renoncer à interpréter la physique quantique dans le sens des idées d'Einstein : les prémisses « localité einsteinienne » et « critère einsteinien de réalité » ne peuvent donc être toutes les deux vraies. En particulier, il n'existe aucun espoir de pouvoir compléter la physique quantique en construisant une théorie locale de variable cachées »³³⁰.

Ce qu'il importe ici c'est que, en analysant les trois positions, EPR, Bohr et Bell, on voit comment il y a divergence en ce qui concerne la méthode. On voit comment les savants balbutient, tâtonnent, tergiversent pour trouver la méthode leur permettant comprendre le phénomène. La méthode est donc de ce fait, par nature, une réalité mutante ; une réalité dont l'objectivité ne saurait être absolue. Laurence Hansen-Love soutient à cet effet que :

³²⁹ Ibid., p. 4.

³³⁰ E. Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, p. 108.

« de manière générale, on constate qu'il n'existe pas de méthode universelle, ni de méthode pour suivre une méthode : l'intelligence humaine est toujours amenée, en fin de compte, à puiser en elle-même, et à renouveler indéfiniment, les règles auxquelles elle veut se soumettre »³³¹.

En physique quantique, de même que les théories sont à objectivité faible, de même aussi la méthode est à objectivité faible. Comme nous l'avons vu, en physique quantique, du fait que le hasard et la probabilité soient omniprésents, le tâtonnement devient le principe d'élaboration de la méthode. Par conséquent, celle-ci sera toujours une réalité non absolue. Gaston Bachelard l'illustre en ces termes : *« Il n'y a pas de méthode de recherche qui ne finisse par perdre sa fécondité première (...) Un discours sur la méthode scientifique sera toujours un discours de circonstance »³³²*. La méthode est une réalité mobile, évolutive.

³³¹ L. Hansen-Love, *La philosophie de A à Z*, p. 296.

³³² Gaston Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique*, Paris, PUF, 1991, p104.

Au terme de ce chapitre nous retiendrons que les instruments sont des objets indispensables et incontournables en science. C'est par eux que la vérité est donnée. Cependant, ils ne sont pas parfaits, ils ne sauraient nous donner la vérité absolue, mais seulement la meilleure approximation. Notons ensuite que, comme les instruments, les paradigmes sont aussi non absolus. Ils sont donc par nature critiquables. C'est la critique qui fait avancer la science. En son absence, la science tombe dans le dogmatisme. Enfin, le hasard et le tâtonnement apparaissent comme des principes d'une objectivité non absolue de la méthode. L'histoire des sciences, notamment de la physique quantique, nous montre comment les scientifiques sont toujours à l'œuvre pour ajuster et perfectionner les méthodes de recherche.

CHAPITRE IX : SCIENCE, HASARD ET TATONNEMENT : DE LEUR INCIDENCE SUR LA PHILOSOPHIE

La philosophie peut-elle évoluer et demeurer d'actualité sans tenir compte des révolutions scientifiques ? Selon le philosophe camerounais Mouchili Njimom, cela est impossible. Pour demeurer d'actualité, la philosophie doit faire une introspection en faisant une analyse profonde de ses fondements en vue de reconnaître ses limites et les niveaux à améliorer, mais aussi et surtout en s'ouvrant et en intégrant le discours scientifique. A cet effet, Mouchili Njimom nous enseigne que :

« Pour demeurer d'actualité, la philosophie doit faire sa propre mue, afin d'être capable de parler du monde et de l'existence de façon crédible. Elle doit tenir compte de ce que les sciences disent du réel (...) Pour comprendre le monde et l'homme de notre temps, on ne peut éviter de faire recours aux sciences physiques, à la biologie et aux nouvelles pratiques techno-biomédicales. Pour cette raison, la philosophie, dans son fonctionnement, doit pouvoir fonder sa pertinence sur la nécessité de comprendre et d'interroger la crédibilité du discours scientifique (...) En d'autres termes, la philosophie contemporaine doit pouvoir intégrer la nécessité de structurer le sens, la marche du monde et du devenir en tenant compte des progrès de la science »³³³.

Ainsi donc, les révolutions scientifiques ont apporté ou bien doivent apporter des outils nécessaires pour l'amélioration et le développement de la pensée philosophique. L'un des faits ou élément le plus remarquable est la façon dont la science a poussé la philosophie à tenir compte du hasard et du tâtonnement. En effet, la science a ouvert une crise de la raison en passant par un chemin que la philosophie n'avait pas envisagé ou imaginé. C'est ce qui fait dire à Robert Blanché que :

« C'est surtout par une autre voie que la science contemporaine a ouvert une crise de la raison (...) On comprend comment ces crises intérieures de la science ont pu être jugées comme des crises de la raison elle-même, et comme des atteintes sérieuses au rationalisme philosophique »³³⁴.

La naissance de la physique quantique en 1900 nous donne donc de comprendre que la science peut provoquer la remise en cause des principes philosophiques les mieux ancrés, que la raison n'est pas universelle et immuable, que le hasard n'est pas une anomalie scientifique et philosophique et enfin que, la transdisciplinarité est indispensable pour rendre compte de l'homme et du monde.

³³³A. Manga Bihina et I. S. Mouchili Njimom (dir), *Pluralisme des rationalités*, pp. 16-17.

³³⁴R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, pp. 7-8.

I- PHYSIQUE QUANTIQUE : SOURCE DU RENOUVELLEMENT DE LA PENSÉE PHILOSOPHIQUE

Comme nous commençons déjà à l'évoquer dans le quatrième chapitre de notre travail, la révolution quantique a bouleversé le dogmatisme scientiste, attaqué les principes fondamentaux du rationalisme philosophique et perturbé la réalité ontologique. Marquis De Laplace pense que la science qui débuta par les jeux de hasard est devenue le plus important objet de la connaissance humaine. En imposant le hasard au monde intellectuel, la physique quantique a causé une grave crise dans la pensée philosophique.

En effet, la pensée philosophique est très redevable aux bases conceptuelles posées dans l'antiquité par Platon et Aristote. C'était une philosophie fortement déterministe, fondée sur une logique ontologique. Cette philosophie avait de l'aversion pour le hasard et le tâtonnement. Or avec la naissance de la physique quantique, nous avons merveilleusement compris que « *la croyance en une raison universelle et immuable, apanage de tout genre humain et soustraite aux vicissitudes de l'histoire* »³³⁵ est réducteur des capacités de la raison et de l'homme. La science contemporaine nous enseigne qu'il y a une pluralité des logiques. Il n'est plus admissible que la philosophie se borne à la seule logique aristotélicienne et à ses développements. La logique devait être réformée car la logique aristotélicienne s'avérait incompatible avec la physique quantique.

*« La réforme de la logique réclamée par Brouwer et Heyting était inspirée par les besoins du travail mathématique. Mais de leur côté les logiciens aussi se sont mis, cette fois pour des raisons d'ordre purement logique, à élaborer des systèmes « non classiques », qui modifient ou rejettent telles ou telles thèses de la logique russellienne – laquelle, on s'en souvient, servait les grandes lois logiques traditionnelles (...) Le surgissement de ces logiques non classiques était inévitable, du moment où la logique prenait à son tour la forme axiomatique (...) Cette pluralité des logiques, cet arbitraire dans l'adoption de l'une d'entre elles ont paru, au premier abord, retirer à la logique traditionnelle son hégémonie absolue sur notre pensée, et porter un coup décisif à la thèse de l'unité et de l'autorité inconditionnelle de la raison »*³³⁶.

A la suite de Robert Blanché, les philosophes camerounais Antoine Manga Bihina et Mouchili Njimom dans l'ouvrage *Le pluralisme des rationalités*, nous enseignent que le pluralisme des rationalités est une évidence épistémologique au XXI^{ème} siècle ou bien depuis la naissance de la physique quantique. La croyance en une raison immuable s'apparente à un arrêt de l'histoire et à la non-plasticité du cerveau humain. La science contemporaine a enseigné à la philosophie

³³⁵ *Ibid.*, p. 1.

³³⁶ *Ibid.*, pp. 98-100.

que la raison se façonne, se modifie, se perfectionne et se réinvente avec les vicissitudes de l'histoire. Antoine Manga Bihina écrit à cet effet : « *Tout se passe comme si l'intelligence humaine n'avait de cesse que le souci d'une ré-invention, d'un perfectionnement aussi se scandalise-t-elle des restrictions, des limitations et des anathèmes dont elle se fait la victime* »³³⁷. Dans son ouvrage *Thomas S. Kuhn et la philosophie des révolutions scientifiques*, particulièrement au chapitre six dudit ouvrage, Emboussi Nyano démontre que la raison humaine ne saurait être une réalité adamique, qui ne change pas. Elle change, se transforme, mute, en fonction de l'histoire, et surtout l'histoire des sciences. Il souligne en effet :

« *Nous assisterons alors à une tentative de construction d'un autrement être de la raison, éloigné de cette irrationalité que l'on est trop facilement tenté de lui imputer. La critique de Kuhn s'attachera à mettre en évidence les insuffisances de l'approche traditionnelle en recourant à l'observation historique* »³³⁸.

L'histoire des sciences est donc l'histoire de la raison, le catalyseur de sa révision, de sa mutation et de sa ré-invention pour emprunter le terme du philosophe Manga Bihina.

Pour entrer dans le monde moderne, le philosophe a besoin de rejeter deux vieux principes qui sont devenus des obstacles épistémologiques : « *celui d'une nature stable et d'un dieu maître du monde* »³³⁹. Ce sont des principes qui ont gouverné la science et la philosophie depuis Aristote et consolidé par des scientifiques comme Isaac Newton et Simon Pierre de Laplace. Leur déconstruction par la physique quantique a ébranlé tous les fondements scientifiques et philosophiques. Le rationalisme contemporain est certes un rationalisme qui tient compte des principes, mais surtout qui rejette l'idée d'une raison universelle et immuable, l'idée de connaissances innées ; il tient compte des données empiriques, du hasard et du paranormal. Pour le comprendre, la philosophie a eu besoin, par humilité, de reconnaître cette grande leçon que la science en général et la physique quantique lui avait donnée. La complémentarité des concepts inspirée de la dualité onde-corpuscule en physique quantique « *a été quelquefois présenté comme portant atteinte aux principes logiques apparemment les mieux assurés, comme ceux de contradiction et d'identité* »³⁴⁰. En portant des coups à ces principes logiques, la physique quantique assénait également des coups très violents à la philosophie. La philosophie était obligée de se réformer, de se renouveler ; lequel renouvellement passait par la prise en compte des nouveautés, des innovations apportées par la physique quantique.

³³⁷ A. Manga Bihina et I. S. Mouchili Njimon (dir), *Le pluralisme des rationalités*, p. 12.

³³⁸ E. Nyano, *Thomas S. Kuhn et la philosophie des révolutions scientifiques*, Paris, Dianoïa, 2014, pp. 263-264.

³³⁹ A. Manga Bihina et I. S. Mouchili Njimon (dir), *Le pluralisme des rationalités*, p. 11.

³⁴⁰ R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 86.

II- LE RATIONALISME A L'EPREUVE DU HASARD ET DU TATONNEMENT

Jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle et même jusqu'au début du XX^{ème} siècle, les philosophes et les scientifiques dogmatiques pensaient que : « *une proposition scientifique, une fois établie, est incontestable, puisque, étant fondée avec toute la précision du calcul sur des expériences objectivement contrôlables, elle est vraie et reconnue comme telle* »³⁴¹. Comme nous l'avions souligné dans les chapitres précédents, ce dogmatisme était une émanation de la philosophie aristotélicienne dont on pensait indépassable.

Ce qui est extraordinaire dans l'histoire du rationalisme c'est que, la révolution avait été provoquée par la science. Les révolutions scientifiques ont poussé les philosophes à sortir de leur zone de confort, zone dans laquelle on assistait seulement à un rabâchement des vieux principes philosophiques. Les bouleversements causés par l'électromagnétisme de Maxwell, la relativité d'Einstein ont commencé à pousser la philosophie à se réviser. C'est pourquoi « *ces crises intérieures de la science ont pu être jugées comme des crises de la raison, et comme des atteintes sérieuses au rationalisme philosophique* »³⁴². En faisant mention des métamorphoses de la raison Dans son ouvrage, *Thomas Kuhn et la philosophie des révolutions scientifiques*, l'auteur Emboussi Nyano analyse les différentes transformations que la raison humaine avait subie jusqu'à Kuhn.

Rejeté depuis les premiers pas du rationalisme, la philosophie s'est vue au XX^{ème} siècle obligée d'adopter le hasard comme principe. Difficile à admettre, dès la première moitié du XX^{ème} siècle, le hasard s'est imposé peu à peu. L'esprit humain a commencé à se familiariser avec l'indéterminisme et la probabilité. Les principes du rationalisme issus de Platon et Aristote se sont vus ébranlés dans leur ontologie. Le rationalisme subissait par là des coups très significatifs. Désormais le hasard, l'indéterminisme et la probabilité qu'on pensait irrationnels s'avèrent désormais être des bases solides du rationalisme contemporain. Admettre cette vérité n'a pas été chose facile. Car l'esprit humain avait été forgé, façonné pendant des siècles au déterminisme. L'homme était comme ontologiquement déterministe, c'est-à-dire que son être intime et le déterminisme étaient devenus comme une seule et même réalité. Voilà pourquoi

³⁴¹ R. Blanché, *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, p. 229.

³⁴² R. Blanché, *La science actuelle et le rationalisme*, p. 8.

l'irruption du hasard par la physique quantique dans le rationalisme fut un choc ontologique, un ébranlement ontologique. C'est pourquoi Heinz Pagels avait affirmé que :

« Il y a en nous quelque chose qui refuse de comprendre la réalité quantique. Nous l'acceptons intellectuellement parce que c'est une théorie consistante du point de vue mathématique, et en parfait accord avec l'expérience, mais notre esprit n'en est pas pour autant satisfait. Les difficultés qu'éprouvent les physiciens et bien d'autres personnes à accepter la réalité quantique me rappellent la façon dont réagissent les enfants lorsqu'ils sont confrontés à un concept qu'ils n'ont pas encore assimilé »³⁴³.

En faisant irruption dans le rationalisme, le hasard nous a imposé la complémentarité des concepts et l'incertitude. Le rationalisme du confort de l'esprit cède la place au rationalisme du tâtonnement et par-là, la notion d'objectivité chère au rationalisme classique perd tout son sens. La physique quantique nous plonge donc dans un rationalisme étrange à cause de ce que Heinz Pagels nomme « *étrangeté quantique* ». Dans son ouvrage *L'univers quantique Des quarks aux étoiles*, il écrit en effet :

« J'appelle « étrangeté quantique » ces propriétés – manque d'objectivité, indétermination, réalité créée par l'observateur – qui distinguent le monde quantique de l'univers ordinaire, celui que nous percevons à l'aide de nos sens. Einstein opposa de sérieuses résistances à l'étrangeté quantique, et plus particulièrement à la notion de réalité créée par l'observateur. Le fait qu'un observateur fût directement impliqué dans le résultat de la mesure s'opposait à sa vision déterministe du monde, où la nature est différente aux choix humains »³⁴⁴.

En effet, l'ancien rationalisme était fondé sur l'ontologie aristotélicienne où le réel était stable et immuable. Avec la physique quantique, cette stabilité et cette immutabilité deviennent insoutenables car le mouvement devient l'élément fondamental de la matière. Il y a là une perturbation de la réalité ontologique, ou mieux, une mutation ontologique. Emboussi Nyano affirme à cet effet que : « *le changement dans la perception est en réalité l'indice d'un profond changement ontologique* »³⁴⁵. Ce changement de la perception de la réalité nous impose une mutation profonde du rationalisme comme l'affirme Heinz Pagels :

« Cette attitude cherche à développer une image conceptuelle du monde quantique, qui soit à la fois intelligible et consistante du point de vue mathématique. Niels Bohr qui est à l'origine de ce courant de la physique moderne, a beaucoup écrit sur la question de l'interprétation de la réalité »³⁴⁶.

C'est pourquoi, pour interpréter la physique quantique, Bohr avait pensé qu'il fallait une rupture radicale avec le rationalisme classique. En effet selon Bohr, il était difficile et impossible

³⁴³ H. Pagels, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, p. 64.

³⁴⁴ *Idem*.

³⁴⁵ E. Nyano, Thomas S. Kuhn et la philosophie des révolutions scientifiques, p. 222.

³⁴⁶ H. Pagels, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, p. 66.

d'interpréter la physique quantique avec les concepts classiques. D'où l'introduction par Bohr de la complémentarité des concepts. Ce fut très audacieux et très astucieux :

« Passionné par le problème de la structure atomique, Bohr effectua une démarche pleine d'audace : rejetant tout simplement un certain nombre de règles de la physique classique, il appliqua à la place de la théorie des quanta de Planck et d'Einstein au cas de la structure atomique (...) Les calculs de Bohr, sur la base de son modèle théorique de l'atome, concordaient parfaitement avec le spectre observé expérimentalement »³⁴⁷.

Bohr rejeta, contrairement à Planck et Einstein, les bases conceptuelles de la physique classique : *« Bohr était prêt à accepter la révolution »³⁴⁸*. Bohr sera suivi dans cette démarche de rupture avec la physique classique par Werner Heisenberg : *« Heisenberg appartenait à une nouvelle génération de physiciens, celle qui, après la première guerre mondiale, avait du monde une vision différente, ce qui n'allait pas sans une certaine méfiance à l'égard de la génération précédente »³⁴⁹*. Heisenberg, Max Born et Pascual Jordan posèrent les bases de la nouvelle physique quantique très différentes de celle de Planck et Einstein. En effet,

« Comme de nombreux physiciens, Heisenberg cherchait à résoudre l'énigme des raies du spectre des atomes (...) Procédant de façon mathématique, il décrivit les transitions entre niveaux d'énergie d'un atome sous forme de tableaux de nombres (...) Il apparaissait que les matrices constituaient, plus que les nombres ordinaires, le langage correspondant le mieux à la description de l'atome »³⁵⁰.

C'était une grande innovation, une rupture radicale avec la physique classique. La mécanique matricielle inaugure donc un nouveau type de rationalisme. Mais quelle est la portée de la mécanique des matrices ? Heinz Pagels nous apprend que,

« la grande idée de la nouvelle mécanique des matrices tient en ce que des variables physiques, telles que la position q et le moment p d'une particule ne sont plus représentées par des nombres, mais par des matrices. Les matrices n'obéissent pas nécessairement à la loi de commutativité – $p \times q$ n'est pas obligatoirement égal à $q \times p$. Dans leur article, Born et Jordan montraient que les matrices représentant la position q et la quantité de mouvement p d'une particule étaient telles que la différence entre $p \times q$ et $q \times p$ soit proportionnelle à la constante de Planck, h . Si nous vivions dans un monde continu, où $h = 0$, les matrices p et q obéiraient à la loi de commutativité comme de simples nombres – exactement comme en physique classique. Mais h n'étant pas nul, même s'il est très petit en réalité, la position q et la quantité de mouvement p d'une particule ne peuvent être considérées comme de simples nombres ; elles doivent être représentées par des matrices et donc obéir à la loi de non-commutativité de la mécanique des matrices, et non pas à la loi de commutativité de la physique classique »³⁵¹.

³⁴⁷ H. Pagels, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, pp. 70-71.

³⁴⁸ *Idem*.

³⁴⁹ *Ibid.*, p. 73.

³⁵⁰ *Ibid.*, pp. 74-75.

³⁵¹ *Ibid.*, p. 76.

La commutativité est donc une émanation du rationalisme classique, celui du déterminisme, de l'objectivité, de l'uniformité des lois de la nature et de la localité. La non-commutativité quant à elle, étant une émanation d'un nouveau type de rationalisme, le rationalisme qui accepte le hasard et le tâtonnement comme étant à son fondement. En étant fondé sur le hasard et le tâtonnement, le rationalisme issu de la physique quantique rompt avec les lois fondamentales du rationalisme classique.

Ces exemples visent à démontrer qu'à chaque type de science correspond un type de rationalisme. Ainsi donc, le hasard et le tâtonnement ne sont plus des éléments dont on devrait s'en débarrasser, au contraire ce sont eux qui ont permis de sortir de la masturbation rationaliste dans laquelle nous étions plongés depuis des siècles.

La physique du hasard et du tâtonnement a donc apporté un changement significatif et profond dans les concepts clés du rationalisme. Par la physique quantique, la compréhension du concept matière fut révolutionnée et approfondie. Ce concept que l'ancienne physique croyait avoir défini tous les contours, c'est-à-dire, défini une fois pour toutes. On dit alors que la physique du hasard et du tâtonnement a brisé le cadre rigide dans lequel le concept matière avait été enfermé depuis l'antiquité. Heisenberg écrit à cet effet que :

« La seconde étape fut la discussion du concept de matière, discussion imposée par les résultats expérimentaux concernant la structure atomique. L'idée de réalité de la matière avait probablement été la partie la plus solide du cadre rigide du XIX^e siècle, et cette idée dut finalement être modifiée pour tenir compte de l'expérience nouvelle »³⁵².

En effet, l'instrumentation de la physique moderne a permis de déceler les erreurs et les illusions de la physique ancienne qui était non expérimentale. Cette nouvelle compréhension de la matière eut pour conséquence une perturbation de la réalité ontologique de la matière, ainsi que les principes logiques de la pensée que sont : le principe d'identité, le principe de contradiction ou de non-contradiction et le principe du tiers exclu. Il fallait admettre, avec la physique du hasard et du tâtonnement, que le mouvement était désormais l'élément fondamental de la matière, c'est-à-dire que la matière est non inerte.

Il y a un paradoxe avec l'avènement de la physique du hasard et du tâtonnement. Ce paradoxe vient de ce que, malgré la nouvelle définition du concept matière, les concepts familiers qui servaient à nommer la réalité n'ont pas été changés. Ceci se justifie par le fait que :

³⁵² W. Heisenberg, *Physique et philosophie*, p. 266.

« C'est le fait que les concepts du langage normal, avec leurs définitions vagues, semblent plus stables au cours de l'expansion de la connaissance que les termes précis du langage scientifique, lesquels sont une idéalisation portant seulement sur un groupe limité de phénomènes. Ce n'est pas surprenant, puisque les concepts du langage normal sont fournis par le contact direct avec le réel ; ils représentent la réalité »³⁵³.

La physique quantique, à en croire Heisenberg, a renforcé le scepticisme en l'homme. Cette physique du hasard et du tâtonnement a considérablement entamé la confiance qu'avait l'esprit humain en la méthode scientifique et à la sécurité scientifique. L'homme se pose la question de savoir comment et pourquoi les concepts du langage normal ne s'appliquent-ils pas à l'univers quantique ? L'univers quantique est un cadre très restreint dans lequel ne s'applique que des concepts sophistiqués et très précis. Heisenberg nous en enseigne que :

« La tendance générale de la pensée humaine du XIX^e siècle a été la confiance croissante dans la méthode scientifique et dans les termes rationnels précis et a conduit à un scepticisme général vis-à-vis de ces concepts du langage normal qui ne s'adaptent pas au cadre fermé de la pensée scientifique, par exemple les concepts de religion. La physique moderne a beaucoup renforcé ce scepticisme(...) Nous savons que toute compréhension doit, pour finir, être basée sur le langage normal, car ce n'est que là que nous pouvons être sûrs de toucher du doigt la réalité et nous devons donc nous montrer sceptiques envers tout scepticisme vis-à-vis de ce langage normal et de ses concepts essentiels ; nous pouvons par conséquent utiliser ces concepts comme ils l'ont toujours été. C'est de cette manière que la physique moderne a peut-être ouvert la porte à un point de vue plus large sur les rapports entre l'esprit humain et la réalité »³⁵⁴.

III- HASARD ET TATONNEMENT : UNE OUVERTURE A LA TRANSDISCIPLINARITE

Comment fonder une méthodologie du dialogue entre les sciences à l'ère où le *big-bang* disciplinaire a pris son essor ? En effet, dans cette ère du *big-bang* disciplinaire, on assiste au sein de la science, à un antagonisme entre les sciences humaines, et les sciences dites exactes. Comment établir un pont solide afin de construire un monde avec un visage plus humain ? Car en effet, la technoscience née du mariage réussi entre les sciences dites exactes et la technologie, est devenue une forme de culture : *« cette nouvelle culture est la source de la force irrationnelle de la mondialisation sans visage humain, centrée sur l'économie et qui peut effacer toute différence entre les cultures et entre les religions »³⁵⁵*. Il devient donc urgent de construire une culture humaniste, c'est-à-dire d'établir un dialogue constant et bénéfique entre les sciences

³⁵³ *Ibid.*, pp. 267-268.

³⁵⁴ *Ibid.*, pp. 269-270.

³⁵⁵ B. Nicolescu, « De l'interdisciplinarité à la transdisciplinarité : fondation méthodologique du dialogue entre sciences humaines et les sciences exactes », in <https://id.erudit.org/iderudit/1007083ar>, volume 7, numéro 1, octobre 2011.

exactes et les sciences humaines. Pour cela, la transdisciplinarité se présente comme la voie idéale et salutaire. Il faut noter que, « *ces derniers temps, les signes de rapprochement entre les deux cultures, entre sciences humaines et sciences exactes se multiplient* »³⁵⁶. Pourquoi la transdisciplinarité et non l'interdisciplinarité ou la pluridisciplinarité ? C'est la question que beaucoup pourraient se poser. Un petit flash-back dans l'histoire de la physique justifie notre choix.

Nous choisissons la transdisciplinarité pour deux raisons fondamentales : premièrement, parce que la physique quantique nous enseigne qu'il y a plusieurs niveaux de réalité, et secondement parce que:

*« La pluridisciplinarité concerne l'étude d'un objet d'une seule et même discipline par plusieurs disciplines à la fois. La recherche pluridisciplinaire apporte un plus à la discipline en question, mais ce « plus » est au service exclusif de cette même discipline. L'interdisciplinarité concerne le transfert des méthodes d'une discipline à l'autre (...) L'interdisciplinarité déborde les disciplines, mais sa finalité reste aussi inscrite dans la recherche disciplinaire. La transdisciplinarité concerne, comme le préfixe latin trans l'indique, ce qui est à la fois entre les disciplines, à travers les différentes disciplines et au-delà de toute discipline. Sa finalité est la compréhension du monde présent, dont l'un des impératifs est l'unité de la connaissance ».*³⁵⁷

Le monde quantique se présente comme une infinité de niveaux élémentaires, chaque niveau élémentaire a sa réalité et sa vérité. Pour comprendre ce monde, la transdisciplinarité devient un impératif, une urgence. Car les vérités ou les réalités de chaque niveau doivent être conjuguées pour cerner le réel avec plus ou moins de précision. La disciplinarité, la pluridisciplinarité, l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité sont toutes importantes car elles font avancer la connaissance ou la science. Mais l'apport de la transdisciplinarité est plus important, plus profond et plus décisif. En effet,

*« La transdisciplinarité est une voie de témoignage de notre présence au monde et de notre expérience vécue à travers les fabuleux savoirs de notre époque. La vision transdisciplinaire, qui est à la fois une vision transculturelle et transreligieuse, conduit, sur le plan social, à un changement radical de perspective et d'attitude »*³⁵⁸.

La transdisciplinarité témoigne de notre présence dans le monde parce qu'elle nous permet de mieux le comprendre en unissant et en conjuguant les savoirs et les connaissances du monde macroscopique ou monde *in vitro* et celles du monde microscopique ou monde *in vivo*. Car la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité n'ont pas bien compris qu' « *un flux d'informations se transmet d'une manière cohérente d'un niveau de Réalité à un autre niveau*

³⁵⁶ *Idem.*

³⁵⁷ *Ibid.*, p. 96.

³⁵⁸ *Ibid.*, p. 97.

de Réalité de notre univers physique »³⁵⁹. Et l'on se tromperait si on limite cette transmission d'informations entre les différents niveaux du monde macroscopique ou entre les différents niveaux du monde microscopique exclusivement. Cette transmission d'informations se fait aussi bien au sein d'un même monde et entre les différents mondes. L'homme, à travers la transdisciplinarité comprend mieux le monde et lui-même. Car la méthodologie transdisciplinaire utilise une logique autre que celle utilisée par la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité. Cette logique se nomme la logique du tiers inclus. Selon Basarab Nicolescu, « la logique du tiers inclus est capable de décrire la cohérence entre tous les niveaux de Réalité par un processus itératif »³⁶⁰. La logique du tiers inclus intègre les points essentiels du théorème d'incomplétude de Gödel. Ce théorème s'avère incontournable pour toute théorie moderne de la connaissance. Comme le souligne si bien Basarab Nicolescu,

*« la portée du théorème de Gödel a une importance considérable pour toute théorie moderne de la connaissance car il ne concerne pas que le seul domaine de l'arithmétique, mais aussi toute mathématique qui inclut l'arithmétique. La structure gödelienne de l'ensemble des niveaux de Réalité, associée à la logique du tiers inclus, implique l'impossibilité de bâtir une théorie complète pour décrire le passage d'un niveau à l'autre et, a fortiori, pour décrire l'ensemble des niveaux de Réalité. L'unité reliant tous les niveaux de Réalité, si elle existe, doit nécessairement être une unité ouverte »*³⁶¹.

La transdisciplinarité est donc, à l'ère moderne, le pont méthodologique du dialogue entre les sciences. Ce pont est bien différent des ponts établis par la disciplinarité, la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité qui se limitent au monde *in vitro* et dont la logique est encore fondée sur les principes de la logique classique. Le pont transdisciplinaire concerne à la fois le monde *in vitro* et le monde *in vivo* ; c'est-à-dire qu'elle essaie d'établir les relations entre les différents niveaux de réalité de chaque monde, et les relations qui existent entre ces deux mondes. Il est à noter que, l'unité que tente d'établir la transdisciplinarité est par nature une unité ouverte. Ceci parce qu'elle prend en compte la relativité et l'incertitude ou l'indéterminisme. Car à cause de dualité onde-corpuscule, le monde *in vivo* est par nature un monde où règnent le hasard et le tâtonnement. En effet,

*« Selon la vision transdisciplinaire, la connaissance n'est ni extérieure, ni intérieure : elle est à la fois extérieure et intérieure. L'étude de l'Univers et l'étude de l'être humain se soutiennent l'une à l'autre. Les sciences exactes et les sciences humaines sont complémentaires. C'est la transdisciplinarité qui est le tiers permettant leur interaction »*³⁶².

³⁵⁹ *Ibid.*, P. 100.

³⁶⁰ *Idem.*

³⁶¹ *Ibid.*, p. 101.

³⁶² *Ibid.*, p. 102.

La pédagogie transdisciplinaire est une pédagogie hautement humaniste. Cette pédagogie a le souci que tous les niveaux de réalités et la conjugaison de tous les savoirs et la conjugaison de toutes les connaissances, non seulement aide l'homme à mieux se comprendre, mais surtout favoriser le dialogue entre les peuples pour rendre la mondialisation bénéfique à tous :

« On peut donc conclure que les sciences exactes, les sciences humaines et la transdisciplinarité constituent le ternaire de la connaissance, permettant l'émergence d'une nouvelle forme d'humanisme qui offre à chaque être humain la capacité maximale de développement culturel et spirituel. Il s'agit de chercher ce qu'il y a entre, à travers et au-delà des êtres humains – ce qu'on peut appeler l'Etre des êtres »³⁶³.

Dans la théorie de la connaissance moderne, la transdisciplinarité apparaît comme le lien le plus complet et le plus efficient du dialogue entre les sciences. Car elle pénètre tous les niveaux de réalité, favorise mieux le dialogue entre les sciences et enfin aide à comprendre l'homme et l'Univers.

³⁶³ *Idem.*

A la fin de ce chapitre, nous pouvons retenir que la philosophie a besoin de la science pour demeurer d'actualité. La physique quantique a, à cet effet, favorisé le passage d'une philosophie « rigide » presque dogmatique à une philosophie « ouverte », intégrant le hasard et le tâtonnement comme catalyseur de son renouvellement constant. Et ceci parce que, la physique quantique a ouvert la boîte de pandore : la crise de la raison. La physique quantique nous a permis de comprendre que la transdisciplinarité est la méthodologie qui permet de comprendre l'incidence de la physique quantique sur la philosophie et sur les autres sciences humaines.

CONCLUSION GENERALE

Démocrite, en son temps, pensait que « *tout ce qui existe dans l'univers est le fruit du hasard et de la nécessité* »³⁶⁴. Mais cette position démocritéenne avait été combattue, tout comme sa position (qu'il partage avec Leucippe) sur l'existence des atomes. Mais la vérité finit toujours par triompher. Car la science moderne, celle née à partir des travaux de Max Planck, place le hasard au cœur de sa réflexion. Ainsi, réfléchir sur *la fonction épistémologique du hasard et du tâtonnement en science* c'est interroger l'histoire des sciences, le fonctionnement de la science, ce qu'est la science et particulièrement ce qu'est la physique quantique. C'est aussi s'interroger sur le rapport qu'entretient l'esprit humain avec la matière ou le réel. Le réel n'est plus, comme l'avait pensé la physique classique, considéré comme l'ensemble des choses qui sont, c'est-à-dire qui ont une existence objective et constatable. Le réel ou la matière n'est plus stable et immuable, il est discontinu et doué de mouvement. Du fait de la dualité onde-corpuscule et de ce mouvement, le réel devient une réalité difficilement saisissable ; le réel est désormais une chose qu'on doit toujours rechercher comme nous l'avons vu avec Bernard d'Espagnat dans son ouvrage *A la recherche du réel*. Dans ce contexte, parler de science exacte devient une illusion. On peut donc affirmer sans risque d'être démenti que Dieu joue aux dés. Car le hasard et le tâtonnement sont au cœur de la science et la gouverne. La découverte de la physique quantique est donc une véritable révolution, un changement radical de vecteur épistémologique. La physique quantique nous introduit dans un monde nouveau, un monde aléatoire. Ce monde n'est plus continu mais discontinu, il n'est plus ordonné, mais désordonné, un chaos total. Il devient alors insensé de soutenir l'objectivité et l'exactitude pensées par la science classique. Toute étude à ce niveau est donc relative. C'est pourquoi la dualité onde-particule est la source du paradigme de la relativité. La tradition métaphysique nous a rendus aveugle pendant des siècles, en nous donnant une image erronée de la science. La microphysique, celle qui parle avec le hasard et l'incertitude, nous enseigne que l'aliénation de la science par la métaphysique est non fondée.

Nous retenons donc que, du fait de l'indéterminisme qui la caractérise, la physique quantique a une incidence sur la perception ontologique du réel. Elle a changé de façon radicale notre perception du réel ou de la matière. Le réel est formé du monde macroscopique et du monde microscopique. Mais la vérité du réel se trouve dans sa dimension microscopique, car la dimension macroscopique n'a qu'une existence fantomatique, le réel repose sur un fond d'irréalité : on parle alors de diversion macroscopique. A cause de la dualité onde corpuscule, le réel n'est plus stable et immuable, il est toujours en mouvement. Ainsi, avec l'avènement de

³⁶⁴ <http://evene.lefigaro.fr> » citation.

la physique quantique, l'ontologie de la stabilité et de l'immutabilité va céder la place à l'ontologie du mouvement et de l'indéterminisme. Car le mouvement est consubstantiel à la matière. Au cœur du réel, ou si l'on veut dans les profondeurs du réel, on ne saurait envisager une immutabilité et un immobilisme : la dualité onde-corpuscule nous l'en empêche. Car l'onde n'est pas une réalité en soi. Par conséquent, la matière n'est plus une réalité permanente dont on peut prédire le comportement. Le fait qu'on ne puisse pas accorder un statut ontologique à une particule quantique nous amène à renoncer à l'ontologie traditionnelle, c'est-à-dire celle d'Aristote. Ce renoncement de l'ontologie traditionnelle a pour conséquence l'ébranlement de certains principes logiques de la pensée. C'est pour cette raison qu'on a pu démontrer que la physique quantique a ouvert la crise de la raison. La raison n'est plus considérée comme immuable et adamique, mais comme une réalité flexible, qui change et s'adapte. La physique quantique a entraîné une déconstruction des principes logiques de la pensée que sont : le principe d'identité, le principe de non-contradiction et le principe du tiers exclu. La raison n'est plus toute puissance, car d'autres facteurs comme l'imaginaire permettent d'acquérir des connaissances valides.

Ce travail nous a enseigné que « *l'atome est le meilleur endroit où nous puissions trouver le hasard – il n'y a rien de tel que le hasard quantique* »³⁶⁵, c'est le hasard parfait et imbattable. Le hasard est difficile à définir ; d'ailleurs, il n'a pas de définition claire, car il a plusieurs visages : il est aléa, il est destin, il est anticipation, il est chaos, il est risque, il est enfin statistique. Mais nous pouvons dire que c'est « *un mot qui vient de l'arabe azzahr et qui signifie dé* »³⁶⁶. Le hasard peut être appréhendé mathématiquement et physiquement. L'univers quantique relève ainsi des lois de probabilité. Non des probabilités simples, mais des distributions de probabilités. Le tâtonnement est intrinsèquement lié au hasard. Il convient de noter que, c'est lorsque le chercheur fait face au hasard dans le réel que son esprit se met à tâtonner, à tergiverser, à tituber faute de certitude. Ainsi donc, si le hasard n'existait pas, le tâtonnement n'existerait pas non plus. Le hasard et le tâtonnement viennent donner une autre compréhension de la recherche scientifique. En fait, la physique quantique vient prouver « *l'incomplétude de la connaissance, c'est-à-dire à la vacuité de tout critère absolu et définitif de définition interne à la science de la notion de vérité* »³⁶⁷.

³⁶⁵ H. Pagels, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, p. 111.

³⁶⁶ F. Rothen, *Aux limites de la physique : les paradoxes quantiques*, p. 105.

³⁶⁷ L. Bot, *Philosophie des sciences de la matière*, p. 291.

Par le hasard et le tâtonnement, le concept de *vérisimilitude* de Popper acquiert encore de l'importance. Nous avons démontré que ce sont eux qui sont source de crédibilité de la falsifiabilité des théories scientifiques. En effet, si Popper a eu le mérite de théoriser le falsificationnisme, il a oublié qu'aucune pensée purement logique ne peut nous donner une connaissance certaine du monde phénoménal. C'est une combinaison de la pensée et du réel. C'est donc le hasard qui se trouve dans le réel et le tâtonnement qui se trouve dans l'esprit du scientifique qui poussent ce dernier à réviser et à falsifier ses théories. Le hasard et le tâtonnement viennent renforcer la thèse selon laquelle la puissance de la science réside dans sa perfectibilité et non parce qu'une théorie triompherait éternellement. D'où le rejet du dogmatisme scientiste, attitude qui a régné pendant la période classique. Car si nous admettons que le réel est dynamique, donc un lieu où règne le hasard, le chaos, cela veut dire que nous voyons partiellement les choses, et parfois nous les voyons mal. Le hasard et le tâtonnement viennent donc montrer l'urgence de la révision des théories scientifiques : voilà pourquoi nous les avons appelés les catalyseurs de la recherche. Il devrait donc y avoir, dans le monde quantique, et à une vitesse très élevée, un « *aller-retour incessant entre l'expérimentation et la théorisation* »³⁶⁸. Le hasard pousse tout le temps le chercheur à la conquête et à l'exploration du réel, pour en tirer des informations nouvelles et des leçons meilleures que celles qu'il avait auparavant. Donc au niveau quantique, pour que la science avance, il faut de la falsifiabilité fondée sur un réel qui s'idéalise, donc fondée sur le hasard et le tâtonnement. Dans notre travail, l'exploration de la physique quantique nous a enseigné que la reproductibilité des faits et la prédiction de la physique classique sont à bannir ou, du moins, sont précaires en science moderne.

L'essentiel de notre travail réside aussi dans le fait de comprendre qu'en science Dieu pouvait mourir. Car nous sommes passés du règne du *Dieu-non-joueur-de-dés* à celui du *Dieu-joueur-de-dés*. Sous le règne du *Dieu-non-joueur-de-dés*, parler de hasard en science était un scandale, un blasphème scientifique ou un sacrilège scientifique. Il existait, mais il était comme mis à l'écart, ou bien enchaînée comme un démon. Mais avec la prise de pouvoir du *Dieu-joueur-de-dés*, l'incertitude, le hasard, le tâtonnement et l'imaginaire ont été anoblis. Cette prise de pouvoir a eu plusieurs conséquences. Le rapport de l'homme au monde a radicalement changé. Il ne voit plus et ne comprend plus le monde avec les bases conceptuelles de la science classique et de la logique classique, mais avec les bases conceptuelles de la science moderne que sont : l'indéterminisme, l'objectivité faible, la non-localité. L'homme comprend alors que

³⁶⁸ *Ibid.*, p. 292.

l'univers n'est plus une horloge bien ordonnée, mais un chaos total dans lequel la logique aristotélicienne n'a plus de sens.

Dans le monde *in vivo* où règne le hasard, la quête de perfectibilité devient permanente car le réel est par nature ce qu'on aurait dû imaginer comme nous l'a enseigné Gaston Bachelard. Et dans cette quête de perfectibilité, la critique devient un état d'esprit que tout chercheur devrait avoir. La critique incite à la recherche. Le hasard et le tâtonnement fondent la critique, ils nous apprennent également que la critique est urgente, nécessaire et indispensable. La science et la philosophie se nourrissent de la critique. Donc, sans critique, point de progrès en science et en philosophie ; d'ailleurs sans elle, science et philosophie seraient des religions. Outre la critique, le hasard et le tâtonnement montrent et démontrent le caractère urgent et indispensable du dialogue entre les sciences par transdisciplinarité. Ainsi donc, hasard et tâtonnement apparaissent comme des *mains invisibles* qui font avancer la science, la philosophie, disons la recherche tout court.

BIBLIOGRAPHIE

A- OUVRAGES

ACOT Pascal, *Que sais-je, l'histoire des sciences*, Paris, PUF, 1999.

ALLEGRE Claude, *Dieu face à la science*, Paris, Fayard, 1997.

ARISTOTE, *Métaphysique*, trad. J. Tricot, livre I, tome I, Paris, Vrin, 1933.

AYISSI Lucien, *Le positivisme de David Hume*, Paris, L'Harmattan, 2017.

BACHELARD Gaston,

-*Essai sur la connaissance approchée*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, 1969.

-*La formation de l'esprit scientifique, contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, 1972.

-*Le nouvel esprit scientifique*, Paris, PUF, 1991.

BACON Francis,

-*La nouvelle Atlantide*, Paris, Flammarion, 1997.

-*Novum Organum*, Paris, Hachette Livre BNF, 2012.

BALIBAR Sébastien et BREZIN Edouard, *Demain la physique*, Paris, Odile Jacob, 2009.

BITBOL Michel, *Mécanique quantique. Une introduction philosophique*, Paris, Flammarion, 2008.

BLANCHE Robert,

-*La science actuelle et le rationalisme*, Paris, PUF, 1967.

-*La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*, Paris, Librairie Armand Colin, 1969.

BOHR Niels,

-*Physique atomique et connaissance humaine*, Paris, Folio Gallimard, 2016.

-*La théorie atomique et la description des phénomènes*, Paris, Editions Jacques Gabay, 2000.

BOT Ludovic, *Philosophie des sciences de la matière*, Paris, L'Harmattan, 2007.

BUNGE Mario, *Philosophie de la physique*. Traduction Françoise Balibar, Paris, Seuil, 1975.

CASSIRER Ernst, *Philosophie des lumières*, Paris, Fayard, 1962.

CARNAP Rudolf, *La construction logique du monde*. Traduction par T. Rivain et E. Schwartz, Paris, Vrin, 2002.

CHALMERS Alan Francis,

-*Qu'est-ce que la science ? Récents développement en philosophie des sciences : Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend*, Paris, La Découverte, 1987.

-*La fabrication de la science*, Paris, La Découverte, 1991.

COPLESTON Frédéric, *Histoire de la philosophie. I. La Grèce et Rome*, Paris, Casterman, 1964.

DESCARTES René,

-*Discours de la méthode*, Paris, Bordas, 1980.

-*Règles pour la direction de l'esprit*, Paris, J. Vrin, 1994.

-*Méditations métaphysiques*, Paris, Fernand Nathan, 1641.

-*Principes de la philosophie*, Paris, J. Vrin, 2009.

DE BROGLIE Louis Victor, *Continu et discontinu*, Paris, Albin Michel, 1941.

D'EPAGNAT Bernard,

-*Penser la science ou les enjeux du savoir*, Paris, Dunod, 1990.

-*Le réel voilé, analyse des concepts quantiques*, Paris, Fayard, 1994.

-(sous la direction de), *Implications philosophiques de la science contemporaine*, 3 tomes, cahiers des sciences morales et politiques, Paris, PUF, 2001.

-*A la recherche du réel*, Paris, Dunod, 2015.

-*Traité de physique et de philosophie*, Paris Fayard, 2002.

DUHEM Pierre, *La théorie physique. Son objet, sa structure*, Librairie philosophique, Paris, Vrin, 2000.

EKELAND Ivar, *Au hasard La chance, la science et le monde*, Paris, Seuil, 1991.

EINSTEIN Albert,

-*Comment je vois le monde*, Paris, Flammarion, 2017.

-*La théorie de la relativité restreinte et générale*, Paris, Dunod, 2021.

EMBOUSSI Nyano, *Thomas S. Kuhn et la philosophie des révolutions scientifiques*, Paris, Dianoïa, 2014.

ESFELD Michael, *Philosophie des sciences*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2020.

GALILEE, *Le « dialogue sur les deux grands systèmes du monde »*, Paris, PUF, 2004.

HEGEL Friedrich.

-*Introduction à la science de la logique*, Paris, Nathan, 1991.

-*La phénoménologie de l'esprit*, Lyon, ENS Editions, 2002.

-*La raison dans l'histoire*, Paris, Pocket, 2012.

HEISENBERG Werner,

-*La partie et le tout*, Paris, Editions Albin Michel, 1972.

-*Physique et philosophie. La science moderne en révolution*, Paris, Albin Michel, 1971.

-*Les principes physiques de la théorie des quanta*. Traduit par B. Champion et E. Hochard, Paris, Gauthier-Villars, 1932.

FEYNMAN Richard, *Lumière et matière. Une étrange histoire*, Paris, Seuil, 1992.

GAUTIER Jean-françois, *L'univers existe-t-il ?*, Arles, Actes Sud, 1994.

GISIN Nicolas, *L'impensable hasard. Non-localité, téléportation et autres merveilles quantiques*, Paris, Odile Jacob, 2012.

GRIBBIN John, *Le chat de Schrödinger. Physique quantique et réalité*, Paris, Flammarion, Champs sciences, 2009.

HAWKING Stephen, *Une brève histoire du temps, Du big-bang aux trous noirs*, Paris, Champs, Flammarion, 1989.

HEMPEL Carl Gustav, *Eléments d'épistémologie*. Traduction Bertrand Saint Sermin, Paris, Armand Colin, 1985.

HIPPOCRATE, *Du génie des peuples anciens, ou tableau historique et littéraire*, Tome II, Paris, Chez MARADAN, 1808.

HOFFMANN Banesh et PATY Michel, *L'étrange histoire des quanta*, Paris, Seuil, 1981.

HOTTOIS Gilbert, *De la renaissance à la postmodernité : une histoire de philosophie moderne et contemporaine*, Louvain-la-Neuve, De Boeck, 1997.

HUME David, *Enquête sur l'entendement humain*, traduction française de Philippe Folliot, Paris, 2002.

IMHOF Jean-Paul., *Introduction au calcul des probabilités*, Gauthier, Villars, 1969.

JACQUARD Albert, *Au péril de la science. Interrogation d'un généticien*, Paris, Seuil, 1982.

JACOB François, *Jeu des possibles : Essai sur la diversité du vivant*, Paris, Fayard, 1981.

JACOB Pierre,

-(Sous la direction de) *De Vienne à Cambridge. L'héritage du positivisme logique*, Paris, Gallimard, 1980.

-(Sous la direction de) *Epistémologie : lectures philosophiques*, Paris, Odile Jacob, 1989.

-*L'intentionnalité. Problème de philosophie de l'esprit*, Paris, Odile Jacob, 2004.

KANT Emmanuel, *Critique de la raison pure*, traduction française avec note par A. Tremesaygues et B. Pacaud, préface de Charles Serrus, Paris, PUF, 1986.

KLEIN Etienne,

-*Petit voyage dans le monde des quanta*, Paris, Flammarion, 2004.

-*Le temps*, Paris, Collection Dominos, Flammarion, 1995.

-*L'unité de la physique*, Paris, PUF, 2000.

-*L'atome au pied du mur et autres nouvelles*, Le Pommier-Fayard, 2000.

KEPLER Johannes, *Le songe ou l'astronomie lunaire*, Angoulême, Editions Marguerite Waknine, 2013.

KIM Jaegwon, *L'esprit dans le monde physique. Essai sur le problème corps-esprit et la causalité mentale*. Traduction par François Athané et Edouard Guinet, Paris, Syllepse, 2006.

KOYRE Alexandre,

-*Du monde clos à l'univers infini*, Paris, Gallimard, 1988.

-*Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1985.

-*Etudes galiléennes*, Paris, Hermann, 1986.

KUHN Thomas Samuel, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1983.

KUMAR Mangit, *Le grand roman de la physique quantique*, éditions Jean-Claude Lattès, 2011.

LACHIEZE-REY Marc, *Au-delà de l'espace et du temps, La nouvelle physique*, Paris, Le Pommier-Fayard, 2003.

LOCQUENEUX Robert, *Histoire de la physique*, Paris, PUF, 1987.

LURÇAT François, *Le chaos*, Paris, collection Que sais-je ?, PUF, 1999.

MACH Ernst, *La mécanique. Exposé historique et critique de son développement*. Traduction par Emile Bertrand, Paris, Hermann, 1904.

MALOLO SISSAKE Emmanuel, *Feyerabend, épistémologie, anarchisme, et société libre*, Paris, PUF, 2001.

MANGA BIHINA Antoine et MOUCHILI NJIMOM Issoufou Soulé, (sous la direction de) *Le pluralisme des rationalités*, Paris, L'Harmattan, 2019.

MILKA Richard, *Le droit d'emmerder Dieu*, Paris, Grasset, 2021.

MONOD Jacques, *Le hasard et la nécessité, Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris, Seuil, 1970.

MOUCHILI NJIMOM Issoufou Soulé,

-*Savoirs scientifique et culture philosophique*, Paris, L'Harmattan, 2021.

-*Existence et science : Essai sur la croissance technologique*, Paris, L'Harmattan, 2022.

-*Penser la philosophie à l'ère des technosciences*, Paris, L'Harmattan, 2012.

-*Science et politique : Réflexions sur des fondements de la dynamique culturelle contemporaine*, Paris, L'Harmattan, 2020.

-*Qu'est-ce que l'humanisme aujourd'hui ? Vers une tentative « bio-centrique » ?*, Paris, L'Harmattan, 2016.

-*De la signification du monde et du devenir de l'existence*, Paris, L'Harmattan, 2017.

MORIN Edgar,

-*La méthode I. La nature de la nature*, Paris, Seuil, 1977.

-*La méthode III. La connaissance de la connaissance*, Paris, Seuil, 1986.

-*La complexité humaine*, Paris, Flammarion, 1994.

NAGEL Ernst, NEWMAN James, GODEL Kurt, GIRARD, Jean-Yves, *Le théorème de Gödel*, Paris, Seuil, 1989.

NERICAULT DESTOUCHES Philippe, *Le Glorieux*, Paris, Librairie des Bibliophiles, 1981.

NEWTON Isaac,

-*Principes mathématiques de la philosophie naturelle*. Traduction par De la Marquise du Chastellet, Paris, Lambert, 1759.

-*Correspondance*. Volume II, Cambridge, Cambridge University Press, 1961.

-*Optique*. Traduction par Jean-Paul Marat, Paris, Christian Bourgeois, 1989.

-*De la gravitation*. Traduction par Marie-Françoise Biarnais, présentation par François de Gandt, Paris, Gallimard, 1995.

NICOLESCU Basarab,

-*La transdisciplinarité, manifeste*, Monaco, collection Transdisciplinarité, Edition du Rocher, 1996.

-*Nous, la particule et le monde*, Monaco, collection Transdisciplinarité, Edition du Rocher, 2002.

NJOH MOUELLE Ebénézer, *De la médiocrité à l'excellence*, Yaoundé, CLE, 1972.

OMNES Roland,

-*La philosophie de la science contemporaine*, Paris, Gallimard, 1994.

-*Comprendre la mécanique quantique*, Les Ulis, EDP Sciences, 2000.

ORTOLI Sven et PHARABOD Jean-Pierre, *Le cantique des quantiques, le monde existe-t-il ?*, Paris, La Découverte, 1984.

PAGELS Heinz, *L'univers quantique. Des quarks aux étoiles*, Paris, InterEditions, 1985.

PAUL Patrick, *Formation du sujet et transdisciplinarité, histoire de vie professionnelle et imaginaire*, Paris, collection Histoires de vie et Formation, L'Harmattan, 2003.

POINCARÉ Henri,

-*La valeur de la science*, Paris, Flammarion, 2005.
-*La science et l'hypothèse*, Paris, Flammarion, 2005.

POPPER Karl,

-*Conjectures et réfutations : la croissance du savoir scientifique*, Paris, Gallimard, 1963.
-*La logique de la découverte scientifique*, Paris, Payot, 1967.
-*La société ouverte à ses ennemis, Tome I, L'ascendant de Platon*, Paris, Seuil, 1979.

PLANCK Max,

-*Autobiographie scientifique*, Paris, Flammarion, 2010.
-*Initiations à la physique*, Paris, Flammarion, 2013.

ROTHEN François, *Aux limites de la physique : Les paradoxes quantiques*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2015

SCHRODINGER Erwin, *Physique quantique et représentation du monde*, Paris, Seuil, 1992.

SELLARS Wilfrid, *Empirisme et philosophie de l'esprit*. Traduction par Fabien Caila, Paris, l'Eclat, 1992.

SERALINI Gilles-Eric, *Génétiquement incorrect*, Paris, Flammarion, 2003.

SEVE Lucien, *Une introduction à la philosophie marxiste*, Paris, Sociale, 1980.

TAGNI, J., ANGO, Y. P., ABEGA, F. D. et POUNTOUGNIGNI, A., *Collection l'excellence en physique en Terminales C, D et TI*, Yaoundé, NMI EDUCATION, 2021.

VON NEUMANN John, *Les fondements mathématiques de la mécanique quantique*. Traduction par A. Proca, Paris, PUF, 1947.

REEVES Hubert, *Poussières d'étoiles*, Paris, Seuil, 1984.

RICHARDSON Hazel, *Comment diviser l'atome*, Great Clarendon Street, Oxford University Press, 1999.

SALET Georges, *Hasard et certitude. Le transformisme devant la biologie actuelle*, Paris VI, éditions scientifiques SAINT-EDME, dépôt : Téqui-diffusion 82, Rue Bonaparte, 1972.

SOLE Andreu, *Créateurs de mondes, nos possibles, nos impossibles*, Monaco, collection Transdisciplinarité, Edition du Rocher, 2000.

TOWA Marcien, *Essai sur la problématique philosophique dans l'Afrique actuelle*, Yaoundé, CLE, 2018.

WITTGENSTEIN Ludwig,

-*De la certitude*, Paris, Gallimard, 1965.

-*Tractatus logico-philosophicus*, Paris, Gallimard, 1993.

B- ARTICLES ET REVUES

ALLORI Vilia, « Contre les ontologies de la fonction d'onde : défense des ontologies primitives », in S. Libihan (direction), *Précis de philosophie de la physique*, Paris, Vuibert, 2013.

ASPECT Aspect, « Le « paradoxe » EPR », in

https://www.physinfo.org/Info_Quantique/epr.pdf

BAKER David John, « Against field interpretations of quantum field theory », in *British journal of the philosophy of science*, 2009.

BARBEROUSSE Anouk, « La valeur de la connaissance approchée. L'épistémologie de l'approximation d'Emile Borel », in <https://shs.hal.science/halshs-00775581>, 2005, révisé en 2008.

BARRETT Jeffrey,

-« Pure wave mechanics and the very idea of empirical adequacy », in *Synthese* 192, 2015

-« Entanglement and disentanglement in relativistic quantum mechanics », *Studies in History and philosophy of Modern Physics*, 2014.

BELL John, « On the Einstein – Podolsky – Rosen paradox », *Physics* 1, 195, 1964.

BONITZER Jacques, « L'idée de révolution : Quelle place lui faire au XXI^e siècle », in d'Olivier Bloch (direction), Paris, Editions Sorbone, 2010.

BOUCHRIHA Habib, « Introduction à la physique quantique », in www.pf-mh.rnu.tn. 2002.

BOYER Alain, « Philosophie des sciences », in P. Engel (direction), *précis de philosophie analytique*, Paris, PUF, 2000.

BREMY, « Hasard et science », in *La revue des questions scientifiques*, N°153 du 22 janvier 1982.

CATELLIN Sylvie et HAUTBOIS Xavier, « Le rôle de l’imaginaire dans la découverte », *Alliage*, N°70 – 2012, mis en ligne le 26/09/ 2012, [URL://revel.unice.fr/alliage/index.html?id=4051](http://revel.unice.fr/alliage/index.html?id=4051)

DELAHAYE Jean-Paul, « L’incomplétude, le hasard et la physique », in <https://www.cristal.univ-lille.fr/profil/jdelahay/pls:2012:216.pdf>, le 03/01/2012.

FORTIER Jérôme, « Une preuve moderne du théorème d’incomplétude de Gödel », in <https://www.amq.math.ca/wp-content/uploads/bulletin/vol56/no3/05-godel.pdf>, 2016.

GRANIER Olivier, « Une brève histoire des débuts de la physique quantique », in <http://www.olivier.granier.free.fr>.

GRELLARD Christophe, « Probabilisme et approximation du vrai au XIVe siècle », in <https://books.openedition.org/psorbonne/6640?lang=fr>.

KLEIN Etienne,

-« Science et imaginaire », in *Science et techno*, 01/07/ 2013.

-« Un nouveau monde quantique. La théorie de l’information sonde les limites de la physique », *La Recherche*, 2011.

MIQUEL Alexandre, « Les théorèmes d’incomplétudes de Gödel », in <http://perso.ens-lyon.fr/natacha.portier/enseign/logique/GoedelParAlex.pdf>, Bulletin AMQ, Vol. LVI, n°3, 2016.

MOUCHILI NJIMOM Issoufou Soulé, « Science, culture et vérité », in Oumarou Mazadou (direction), *Modernité politique, modernité*, Paris, L’Harmattan, 2017.

POINAT Sébastien, « Whitehead et les pères fondateurs de la mécanique quantique », in, <http://journals.openedition.org/noesis/1628> , 2008, mis en ligne le 15 décembre 2009.

SAINT-SERNIN Bertrand, « La raison », in <https://www.cairn.info/la-raison--9782130537762-page-35.htm>, 08/03/2010.

STIFTUNG Friedrich Ebert, « Méthodologie de la recherche scientifique », in <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/beirut/12954.pdf>, 2016.

C- THESES ET MEMOIRES

ARMAGNAT Pacôme, *Physique quantique et électrostatique auto-cohérentes*, thèse de doctorat dirigée par Xavier Waintal, Université de Grenoble, 26 juin 2019.

GILLARD Nicolas, *Traitement du signal quantique : Effets de bruit utile et intrication*, thèse de doctorat dirigée par François Chapeau-Blondeau et Etienne Belin, L'Université d'Angers, 05 novembre 2019.

FALLAH ZARRINKAR, *Criticalité quantique et opérateurs chargés dans la Famille Gross-Neveu à partir de la limite de Grand N*, mémoire dirigé par Witczak-Krempa William, Université de Montréal, 07 mai 2024.

MOUCHILI NJIMOM Issoufou Soulé, *Science et humanisme : une réflexion philosophique sur les fondements du développement humain*, thèse de doctorat dirigée par Godfrey Banyuy T., Université de Yaoundé I, octobre 2008.

NGOUWOUO, M. M., Feyerabend sur la question du libéralisme scientifique : une lecture de Contre la Méthode (1979), mémoire dirigé par Antoine Manga Bihina, Université de Yaoundé I, juin 2018.

D- USUELS

FOULQUIE Paul, *Dictionnaire de la langue philosophique*, Paris, PUF, 1962.

HANSEN-LOVE Laurence, (Sous la direction de) *La philosophie de A à Z*, Paris, Hatier, 2011.

LALANDE André, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, Paris, PUF, 2010.

LECOURT Dominique, (Sous la direction de) *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, Paris, PUF, 2019.

NADEAU Robert, *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*, Paris, PUF 1999.

RUSS Jacqueline, *Dictionnaire de philosophie. Les concepts, les philosophes*, 1850 citations, Paris, Bordas, 1991.

VERVEZ André et HUISMAN Denis, *Histoire des philosophes, illustrée par les textes*, Paris VI, Ed. Fernand Nathan, 1971.

Le Robert illustré, Collection, Paris, Le Robert, mai 2016.

E- WEBOGRAPHIE

- <https://www.cairn.info/la-raison--9782130537762-page-35.htm>.
- <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/beirut/12954.pdf>,
- <http://journals.openedition.org/noesis/1628>.
- <http://perso.ens-lyon.fr/natacha.portier/enseign/logique/GoedelParAlex.pdf>
- <https://books.openedition.org/psorbonne/6640?lang=fr>.
- <http://www.olivier.granier.free.fr>.
- <https://www.amq.math.ca/wp-content/uploads/bulletin/vol56/no3/05-godel.pdf>
- <https://www.cristal.univ-lille.fr/profil/jdelahay/pls:2012:216.pdf>
- <URL://revel.unice.fr/alliage/index.html?id=4051>
- www.pf-mh.rnu.tn
- <http://www.wikipédia.com/fr>.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	ii
DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
RESUME	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : LE PRINCIPE D'INCERTITUDE : FONDEMENT DU HASARD ET TATONNEMENT EN SCIENCE	12
CHAPITRE I : L'ILLUSION D'UNE SCIENCE EXACTE : LE DIEU DE LA SCIENCE JOUE AUX DÉS	14
I- LA CRITIQUE DU REVE HIPPOCRATIQUE	15
II- DE L'ORIGINE DE L'INCERTITUDE EN SCIENCE	19
III- EINSTEIN HANTE ET ALIENE PAR LE DETERMINISME	22
CHAPITRE II : LE DYNAMISME ET LA NON-INERTIE DU REEL : SOURCE DU HASARD ET DU TATONNEMENT	28
I- LE MOUVEMENT : L'ELEMENT FONDAMENTAL DE LA MATIERE	29
II- LA DUALITE ONDE-PARTICULE : SOURCE DU PARADIGME DE LA RELATIVITE	35
III- LA NON-PERTINENCE DE L'ALIENATION DE LA SCIENCE PAR LA METAPHYSIQUE	38
CHAPITRE III : HASARD ET TATONNEMENT : FACTEURS DE PROGRES DE LA SCIENCE	42
I- HASARD ET TATONNEMENT : SOURCE DE CREDIBILITE DE LA FALSIFIABILITE	43
II- HASARD ET TATONNEMENT : CRITIQUE DU DOGMATISME SCIENTISTE	46
III- DU FONDEMENT DES PROGRES SCIENTIFIQUES	49
DEUXIEME PARTIE : INTERROGATIONS SUR LA CREDIBILITE D'UNE SCIENCE OUVERTE AU HASARD ET AU TATONNEMENT	56
CHAPITRE IV : LA REVOLUTION QUANTIQUE : UNE PERTURBATION DE LA REALITE ONTOLOGIQUE	58
I- DES QUANTA : UNE AMORCE DE L'INDETERMINISME	59
II- L'INCIDENCE DE L'INDETERMINISME SUR LA PERCEPTION ONTOLOGIQUE DU REEL	61
III- DE L'APPROXIMATION DES VERITES SCIENTIFIQUES	68

CHAPITRE V : HASARD ET TATONNEMENT : DES ATTEINTES SERIEUSES A LA RATIONALITE SCIENTIFIQUE ? -----	72
I- VERS UNE REPRISE EN MAIN DE L'IMAGINAIRE ? -----	73
II- Y A-T-IL UNE COMPLEMENTARITE ENTRE HASARD, TATONNEMENT ET RATIONALITE ? -----	75
III- DE LA NON-CONSTANCE DE LA RATIONALITE SCIENTIFIQUE -----	81
CHAPITRE VI : METAPHYSIQUE ET LOGIQUE SOUS L'EMPRISE DU HASARD ET DU TATONNEMENT-----	87
I- INCERTITUDE SCIENTIFIQUE ET TATONNEMENT-----	88
II- DECONSTRUCTION DES PRINCIPES D'IDENTITE, DE NON-CONTRADICTION ET DU TIERS-EXCLU-----	90
III- COMPLEMENTARITE ENTRE CONCEPTS PHYSIQUES ET HASARD-----	95
TROISIEME PARTIE : LA FECONDITE THEORIQUE DU HASARD ET DU TATONNEMENT EN SCIENCE -----	100
CHAPITRE VII : HASARD ET TATONNEMENT : DES CATALYSEURS DE LA RECHERCHE -----	102
I- HASARD ET TATONNEMENT : SOURCE DU RENOUVELLEMENT CONSTANT DES THEORIES -----	103
II- DU CARACTERE PARTIEL D'UN TRAVAIL SCIENTIFIQUE -----	105
III- HASARD ET TATONNEMENT COMME HYPOTHESES DE LA CRITIQUE EN SCIENCE ET EN PHILOSOPHIE -----	107
CHAPITRE VIII : LA SCIENCE : UNE VALEUR APPROCHEE DE LA VERITE- 116	
I- DE L'INCOMPLETUE CONSTANTE DES INSTRUMENTS DE MESURE-----	117
II- DE L'OUVERTURE PERMANENTE DES PARADIGMES A LA CRITIQUE----	121
III- HASARD ET TATONNEMENT : PRINCIPE D'UNE OBJECTIVITE NON ABSOLUE DE LA METHODE -----	125
CHAPITRE IX : SCIENCE, HASARD ET TATONNEMENT : DE LEUR INCIDENCE SUR LA PHILOSOPHIE-----	131
I- PHYSIQUE QUANTIQUE : SOURCE DU RENOUVELLEMENT DE LA PENSEE PHILOSOPHIQUE-----	132
II- LE RATIONALISME A L'EPREUVE DU HASARD ET DU TATONNEMENT -	134
III- HASARD ET TATONNEMENT : UNE OUVERTURE A LA TRANSDISCIPLINARITE -----	138
CONCLUSION GENERALE -----	143
BIBLIOGRAPHIE-----	148
A- OUVRAGES-----	149
B- ARTICLES ET REVUES-----	156

C-	THESES ET MEMOIRES-----	157
D-	USUELS-----	158
E-	WEBOGRAPHIE-----	159