

Lettre sur le quantique à mes amis de "Contradiction"

projet, Vaulx-en-Velin le premier Février 2019, Michel Mizony, version du 16 février 2019.

Bien le bonjour mes amis, suite à l'exposé que je vous ai fait en mai 2018 à propos de l'axiome du choix dans lequel j'ai terminé ma saga du 0, par trois théorèmes mathématiques importants émanant de la théorie des ensembles avec l'axiome du choix (les maths modernes publiées par Bourbaki en 1939 et maintenant universelles), mon travail a continué surtout en bénéficiant d'une remarque que m'a faite Philippe Dujardin sur l'ensemble vide qui apparaît comme oxymore extraordinaire. En juin et juillet on en a tiré des conséquences très intéressantes. Mais à partir du mois d'Août on a travaillé, lui sur la "Polarité" moi sur le(s) théorème(s) de "Complémentarité" issu(s) essentiellement du théorème de Werner Heisenberg de 1927.

A propos du nécessaire dépassement à proposer au "Principe de contradiction" d'Aristote, nos travaux convergent : "Polarité" et "Complémentarité" se présentent comme deux faces d'une même pièce (version "littéraire" et version "scientifique" de ce dépassement nécessaire du principe d'Aristote). De cela on en reparlera plus tard, cependant ce travail nous a obligé, Philippe et moi, à revenir sur le "manuscrit" de 1942 de Heisenberg.

Mais aujourd'hui faisons le point sur le fait que Heisenberg considère que la "théorie quantique" est de la "chimie quantique" et que la "théorie quantique" est complémentaire à la physique y compris relativiste, dans ce manuscrit de 1942.

"chimie quantique" = "théorie quantique"

en utilisant 4 types d'arguments :

historique, énergétique, axiomatique et enfin expérimental

On conclura par un retour sur le mouvement brownien.

A L'argument historique :

a) 1911, Marie Curie reçoit le prix Nobel de **Chimie** pour ses travaux sur des atomes et plus généralement pour la mise en évidence de la radioactivité d'atomes.

b) 1927, la publication de Heisenberg intitulée "*Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik.*" Zeitschrift für Physik, Band 43, 1927, S. 172–198. (Sur le contenu descriptif de la théorie quantique de la cinématique et de la mécanique). Dans cet article il y a une partie heuristique sur la limitation de mesures conjointes de position et d'impulsion qui est de l'ordre de la constante de Planck et que Heisenberg nomme "**Unschärferelation**" puis, en utilisant la transformation de Fourier des gaussiennes, il établit un théorème mathématique qu'il nomme "**Unbestimmtheitsrelation**". La première traduction anglaise a traduit les deux mots allemands par "uncertainty Principe". Non seulement cela constitue une grave erreur de traduction (deux mots différents par le même mot imprécis) mais les conséquences furent dramatiques. Or Heisenberg appelle bien son résultat mathématique "relation d'indétermination" ou "principe d'indétermination" et ce, à juste titre car c'est un théorème de Fourier bien utilisé. Les conséquences sont nombreuses, en particulier que la très mal appelée "mécanique" quantique, essentiellement relative aux atomes est de nature chimique, et aussi une complémentarité entre physique classique et théorie quantique.

c) 1927, le principe de complémentarité (onde-corpuscule) fut introduit par Bohr à la suite du principe d'indétermination de Werner Heisenberg comme approche philosophique aux phénomènes apparemment contradictoires de la théorie quantique.

d) Au niveau expérimental, il y a un gros développement du tableau de Mendeleiev, tableau fondamental de chimie atomique qui bénéficie beaucoup donc de cette nouvelle "mécanique". Ce

tableau reste aujourd'hui encore toujours énigmatique.

e) Le "manuscrit de 1942" de Heisenberg ne fut connu et publié qu'après sa mort en 1976 et traduit en Français en 1998 (*Philosophie Le manuscrit de 1942*, éditions du Seuil) par la philosophe des sciences Catherine Chevalley; il exprime sa position philosophique au milieu du 20^{ème} siècle et dans cet ouvrage Heisenberg est très clair, pour lui la "théorie quantique" est la "chimie quantique" d'une part et la physique classique est complémentaire à cette nouvelle "mécanique", la "théorie quantique". D'une part il en parle que dans son chapitre concernant la chimie puis en introduction du chapitre suivant traitant de la biologie. Par ailleurs C. Chevalley qui a écrit une longue et riche présentation de ce "manuscrit" dit la phrase vraiment révélatrice suivante (page 218) "*Après la théorie quantique maquillée en chimie, Heisenberg inclut dans le deuxième niveau de réalité ce qui concerne la vie organique et la conscience.*"

A cette argumentation historique nous devons considérer l'évènement que constitue la catastrophe d'Hiroshima et Nagasaki de 1945 car Heisenberg, du fait de ses fonctions pendant la guerre, connaissait bien en 1942 ce qui se préparait. En fait c'était une bombe chimique utilisant l'aspect quantique de la chimie, certes réalisée grâce à d'énormes moyens provenant de la physique classique comme par exemple des champs magnétiques importants et des centrifugeuses puissantes entre autres. En fait il fut construit une énorme usine de physique classique à Los Alamos, pour réaliser un objet de chimie quantique. Dans son manuscrit donnant sa philosophie de la connaissance rationnelle, ce qui est bien plus large que l'épistémologie, Heisenberg introduit deux concepts de base que sont les "régions de réalité" et les "connexions nomologiques" parmi lesquelles il distingue plusieurs niveaux; la théorie quantique donne un niveau de connexions nomologiques supérieur à la chimie classique, mais pas à la physique classique comprenant aussi la relativité.

Ainsi, vers le milieu du 20^{ème} siècle cet argumentation historique donne raison à Heisenberg pour ses positions : la complémentarité entre physique et théorie quantique et la chimie plongée dans la chimie quantique.

Et depuis?

Il y eu après 1945 le développement de labos de physique atomique (interactions faibles) et de physique nucléaire (interactions fortes), les deux en lien avec l'aspect quantique de la chimie. Par exemple l'IN2P3 est fondé en 1971, avec 24 labos aujourd'hui. On pourra aussi se reporter à https://ressources.campusfrance.org/catalogues_recherche/recherche/fr/rech_physique_fr.pdf qui est une présentation de la recherche en physique aujourd'hui en France; on notera l'accent mis sur l'aspect interdisciplinaire comme par exemple des labos de biophysique et des labos de physico-chimie, sans compter de nombreux chercheurs de labos, au nom plus traditionnel, qui travaillent sur de la physico-chimie. Un ami physicien travaillant dans un labo de physique des matériaux me disait : "*Personnellement, je ne mets pas de séparation entre physique quantique et chimie quantique. Pour moi, la chimie est plus spécifiquement la synthèse et l'analyse de matériaux afin de trouver de nouvelles propriétés, lorsque cela s'impose elle fait appel à la mécanique quantique. La physique, de façon générale cherche des lois qui peuvent décrire le comportement de la matière, comme la chimie elle fait appel à la mécanique quantique lorsque cela s'impose. Mais en réalité, la séparation entre physique et chimie est souvent artificielle. En recherche j'étais surtout intéressé par la physicochimie où il est vraiment difficile de faire une séparation.*". Il complétait ainsi : "*Pour l'étude des propriétés (macroscopiques) des solides on part du comportement quantique. De ce comportement on en déduit des grandeurs macroscopiques, comme par exemple la susceptibilité diélectrique, la conductivité électronique (et même la supraconductivité qui ne peut pas être plus d'origine quantique), la susceptibilité magnétique, la conductivité thermique, propriétés mécaniques, etc. A partir de là on peut traiter le solide par la physique classique. ... En fait, le quantique est pertinent lorsqu'il y a cohérence, c'est-à-dire lorsqu'il existe une fonction d'onde à laquelle sera associée une particule ou une quasi-particule. Dans les cristaux, même très*

macroscopiques, la cohérence est facilitée par la structure périodique de l'arrangement atomique. Dans d'autres matériaux la cohérence peut être obtenue par une structure hiérarchique dans laquelle il y a connexion entre les différents degrés de hiérarchie. Le passage du quantique au classique devient d'autant plus pertinent que, d'une part, la décohérence se déclenche rapidement, et, d'autre part, la distribution des niveaux d'énergie est continue : c'est le cas pour les solides macroscopiques."

On a une belle approche de l'expérimental des physicochimistes, approche tenant compte d'aspects théoriques. N'oublions pas le labo mondial du Cern à Genève et d'autres grandes coopérations internationales. Pour tenir compte de cette grande évolution en physique et chimie :

utilisons les trois autres types d'arguments :
énergétique, axiomatique et enfin expérimental

B L'argument énergétique :

Il est évident qu'à l'échelle de l'atome, les électrons changent de niveau d'énergie de manière quantique par sauts dépendants de la constante de Planck; il est aussi évident que la notion de trajectoire n'existe plus à cette échelle, même si le modèle de l'atome de Bohr peut le laisser croire car ce modèle ne permet pas de rendre compte de certains phénomènes. Les probabilités de présence règnent maintenant. Le problème est donc de savoir si ces sauts d'énergie peuvent se manifester bien au-delà de cette échelle atomique. On pense bien sûr au phénomène de l'intrication et la non séparabilité associée. A ce sujet il est trop souvent parlé de non localité ce qui est une erreur du fait de la relativité, et à juste titre il faut parler de non séparabilité comme l'a suggéré Bernard d'Espagnat. On doit ajouter aussi les inégalités de Bell comme attestant certains phénomènes quantiques qui ont été bien mis à l'épreuve depuis les expériences d'Aspect. De tout cela, en sort-il un nouvel aspect énergétique quantique? Il semble que non, les physiciens pensent que l'intrication ne permet aucun transport énergétique mais un transport d'"information" ou et de "complexité". Il y a aussi le transport d'énergie atomique quantique qui se manifeste dans de très longues molécules et plus généralement les phénomènes dit de cohérence et de décohérence, dans des cristaux par exemple.

Dans ces phénomènes de cohérence bien constatés dans des environnements physiques (ou biologiques) particuliers autour d'un atome, il se manifeste une transmission rapide de l'état quantique du même atome avec une "additivité" de l'énergie quantique de cet atome chimique; ce phénomène se poursuit en général par une phase de décohérence.

A ce jour donc il ne semble pas que l'énergie quantifiée dépasse l'échelle de l'atome, même si on a la belle dualité formelle d'Einstein et de Broglie entre onde et corpuscule $E = mc^2 = h \nu$, où h est la constante de Planck et ν la fréquence de l'onde électromagnétique. Ainsi aujourd'hui la position de Heisenberg sur la chimie quantique semble confortée par cet argument énergétique.

C L'argument axiomatique :

Il existe deux axiomatiques différentes mais mathématiquement équivalentes de la théorie quantique appelées formalisme hilbertien; l'une des axiomatiques est fondée sur le groupe de Poincaré, groupe cinématique de la relativité générale, par le calcul de ses représentations unitaires ce qui permet d'établir la transformation de Fourier d'une part et ce formalisme hilbertien de E. Wigner, cf. "*On unitary representations of the inhomogeneous Lorentz group*", *Annals of Mathematics*, Vol 40 n°1, 1939, <https://ysfine.com/wigner/wig39.jpg>. Ayant pour ma thèse travaillé sur cette transformation de Fourier sur les groupes cinématiques entre autres, j'ai défini le semi-groupe de causalité puis la transformation de Laplace associé et ayant constaté que ce formalisme ne fonctionnait pas pour le groupe cinématique de de Sitter SO(1,4), j'ai dû modifier ce formalisme, valable pour tous les groupes cinématiques et qui ne repose que sur la connaissance des

représentations isométriques du semi-groupe de causalité, irréductibles associées aux particules élémentaires donc à l'échelle atomique, (cf. "*Semi-groupes de causalité et formalisme hilbertien de la mécanique quantique*", Michel Mizony, Publications du Département de mathématiques (Lyon), no. 3B (1984), p. 47-64 http://www.numdam.org/item/?id=PDML_1984__3B_A5_0).

Indépendamment, J.M. Levy-Leblond a établi en 2003 ce même résultat par une méthode différente. Le semi-groupe de causalité découlant du principe de causalité semble donc conforter le dire de Heisenberg sur la chimie quantique. A noter que Heisenberg a participé à l'élaboration de l'autre formalisme hilbertien avec son algèbre matricielle et que les deux formalismes permettent d'obtenir l'algèbre de von Neumann des états possibles d'une particule, les fameux "bra-kets". A noter que pour le deuxième groupe de de Sitter SO(2,3) le semi-groupe de causalité doit être vu ou imagé de manière hélicoïdale comme un escalier en colimaçon du fait des bornes de la variable temporelle, car il revient comme au départ mais à l'étage supérieur. Ainsi ce formalisme hilbertien associe à la causalité une flèche du temps.

C L'argument expérimental :

Considérant d'abord le tableau périodique des éléments, nous avons, cf. wikipédia : "Chaque électron d'un atome est donc décrit par quatre nombres quantiques, qui vérifient les propriétés suivantes :

- le nombre quantique principal n est un nombre entier naturel non nul : $n \geq 1$;
- le nombre quantique azimutal ℓ est un nombre entier positif ou nul vérifiant $0 \leq \ell \leq n - 1$;
- le nombre quantique magnétique m_ℓ est un nombre entier vérifiant $-\ell \leq m_\ell \leq \ell$;
- le nombre quantique magnétique de spin m_s vaut $-1/2$ ou $+1/2$, les électrons correspondants étant couramment représentés par les symboles \downarrow et \uparrow ."

Cela permet une meilleure présentation du tableau de Mendeleiev qui est toujours complété au fil des années et toujours énigmatique. De fait beaucoup de laboratoires de physique s'attachent à découvrir expérimentalement de nouvelles particules ou atomes comme par exemple la particule nommée "boson de Higgs" et mise en évidence au CERN il y a quelques années. Certes cette particule est bien dans la fourchette de masse (d'énergie) attendue, mais il manque encore quelques renseignements (donc expériences) pour vraiment savoir si la particule du CERN possède bien d'autres propriétés pour être vraiment ce boson de Higgs recherché. Prenons donc cet énorme laboratoire mondial de Genève; le Cern est vu comme un gros laboratoire de Physique, ce qui est vrai dans la mesure où l'essentiel de l'équipement relève de la physique classique : les gros électro-aimants pour accélérer atome ou particule, les appareils de mesures pour constater les résultats et tout l'équipement informatique pour conserver ceux-ci et les faire parler. Mais où se trouve du quantique la dedans en dehors du but de repérer ce que produit le choc entre deux particules, l'une accélérée, l'autre de la cible ce qui relève de la chimie quantique? Oui on en trouve dans des tas d'appareils de mesure (chambre à bulle par exemple) et laser à usage très divers par exemple.

Regardons maintenant les grandes réussites technologiques liées à la théorie quantique et mises au point dans des laboratoires dits de "physique quantique": citons une des nombreuses vulgarisations : <https://toutestquantique.fr/laser/> : "Inventé par les physiciens, le laser utilise les atomes et leurs propriétés quantiques pour produire une lumière unique en son genre. " Puis un peu plus loin <https://toutestquantique.fr/metaux/> : "Application : Les ordinateurs sont quantiques : L'extraordinaire essor des ordinateurs a été possible grâce à l'invention du transistor par les physiciens de la quantique. Ces chercheurs sont parvenus à insérer dans des isolants des électrons libres en ajoutant d'autres atomes choisis pour leurs propriétés quantiques. Ils ont alors pu inventer de nouveaux dispositifs aux propriétés électriques révolutionnaires comme les transistors, mais

aussi les diodes lasers, les LED ou les mémoires flash." Etc. Mais l'ordinateur quantique proprement dit dépend aussi de la mise au point de la programmation de logiciels basés sur une transformation de Fourier adaptée aux q-bits.

Ce site de vulgarisation montre bien que la physique utilise toujours la chimie quantique (au niveau des atomes et particules élémentaires) pour construire de nouveaux objets. La "Physique quantique" se réduit à de très judicieuses utilisations de la chimie quantique au coeur de la théorie quantique. Nous avons déjà parlé de l'intrication au niveau énergétique mais précisons que les deux corpuscules intriqués sont fabriquées à partir d'atomes par un processus relevant de la chimie quantique, donc rien de nouveau.

Pour y voir plus clair, il faudrait examiner quels sont les liens entre la "théorie quantique" avec les divisions plus classiques de la physique : atomique, nucléaire et électrodynamique; par exemple il y a beaucoup d'applications de ces domaines pour mettre en évidence et mesurer des effets quantiques et inversement l'utilisation de phénomènes quantiques à l'échelle de l'atome pour avancer dans l'unification théorique des interactions faible, forte, électrodynamique avec la théorie quantique; là on entre vraiment dans la complémentarité et non pas, comme il est trop souvent dit, dans celui de l'unification qui est mise en place très localement avec des lois en approximation souvent linéaire, ce qui théoriquement parlant définit la complémentarité.

Ceci étant dit, la physique étant vraiment un immense domaine, il est probable que certaines avancées en physique classique et en théorie quantique m'aient échappées.

En tout cas aujourd'hui, rien à ma connaissance ne permet d'invalider le dire de Heisenberg :
"Théorie quantique = Chimie quantique",

et le tableau de **Mendeleïev** est toujours à compléter et à comprendre. Le point en 2017 sur Mendeleïev : <https://hal.archives-ouvertes.fr/in2p3-01578909>.

Mais à l'avenir ne trouvera-t-on pas une nouvelle connexion nomologique d'un ordre supérieur de la théorie quantique? Rien ne l'interdit.

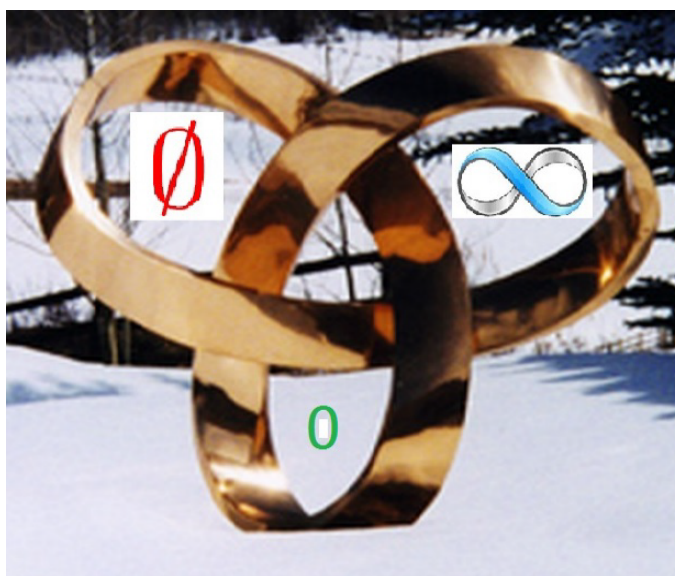
Un point sur le concept d'isotope : La notion d'isotope relève de la physique nucléaire (interactions fortes) et de la chimie; la séparation isotopique se fait par centrifugation (physique classique); deux isotopes sont sur la même case du tableau de Mendeleïev. Dans le récent article de [hal.archives-ouvertes](https://hal.archives-ouvertes.fr/in2p3-01578909), le point est bien fait concernant les limites possibles du tableau et le gros travail de recherche à accomplir sur ce sujet.

Un point sur la philosophe de la connaissance. Ci-dessus j'ai essayé de donner le point de vue du mathématicien que je suis, même si j'ai publié des articles sur la relativité générale ou le formalisme quantique et également en épistémologie. Pour ce qui concerne le domaine plus vaste de la philosophie de la connaissance, j'ai beaucoup apprécié les points de vues de E. Cassirer concernant le langage symbolique, celui de H. Vaihinger concernant le fictionnalisme car tout concept mathématique est fictionnel, celui de W. Heisenberg avec ses régions de réalités qui précisent bien ce que peuvent être les différents domaines de la connaissance et ses connexions nomologiques qui sont des fictions correctes ou/et "efficaces"; il existe d'autres points de vues intéressants comme par exemple celui du suisse F. Gonseth (voir Cohen-Tannoudji) ou celui du français Gilles-Gaston Granger (cf. La vérification). J'attache beaucoup d'importance à cette forme de "pragmatisme philosophique" de la connaissance développée par Poincaré, qui s'appuie sur le "tout se passe comme si" et qui est très "productive". J'espère que cette contribution sur la chimie quantique participera au rétablissement d'un nécessaire dialogue avec des "littéraires", philosophes de la connaissance qui ont du mal à saisir des postures philosophiques de scientifiques, et qui suivent naïvement les dires tout en noir (trou, matière, énergie) de trop d'astrophysiciens occidentaux qui, de plus, cherchent à quantifier la gravitation ce qui est absurde; contrairement à l'ex URSS et la Russie d'aujourd'hui et les tchèques et autres qui connaissent très bien ces erreurs occidentales qui mènent à une véritable inquisition. Il y a aussi des canadiens, australiens, brésiliens, indiens et chinois courageux (et de rares US et UK). Ces derniers ont bien du mal à se faire entendre car ils

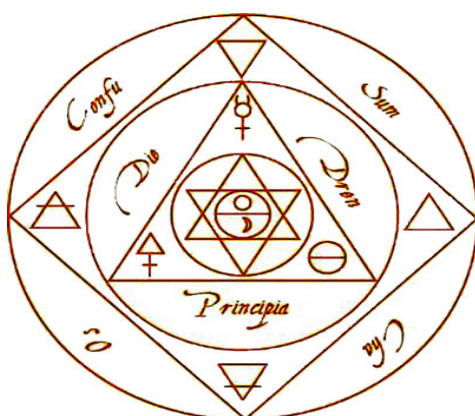
sont trainés dans la boue et interdits de publications par cette caste des labos occidentaux d'astrophysique; Giordano Bruno n'est pas loin d'être réactualisé. Passons plutôt à un petit intermède.



Symbole de la connaissance en mathématique : théorie des ensembles ZFC



Symbole de l'épistémologie en mathématique (de la place pour l'intuition)



Symbole de l'alchimie

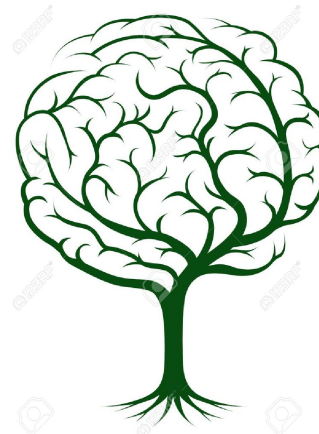




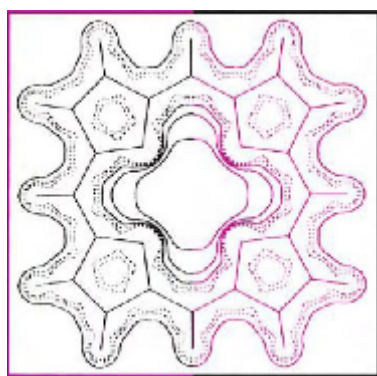
Symbole de la chimie

le symbole de la connaissance?

dernier me plaît car plus simple et le moins anthropomorphe.



ou l'arbre du cerveau? Ce



Symbole de la chimie quantique proposé par Jean-Louis Rivail (couverture de son livre)

Vers une ouverture ?

Retour sur l'expression "mécanique" quantique : En 1900, Planck émet une hypothèse pour rendre compte du rayonnement du corps noir : pour expliquer le rayonnement observé, Planck émet l'hypothèse que **l'énergie** est émise du corps noir par « paquets » indivisibles et que l'énergie transportée par l'onde lumineuse est proportionnelle à sa fréquence, avec une constante de proportionnalité h . En 1905 les travaux d'Albert Einstein sur l'effet photoélectrique vont montrer que la lumière est aussi faite de « paquets **d'énergie** » indivisibles, les *quanta* de lumière, appelés aujourd'hui les photons. Il résout ainsi le débat au sujet de la nature de la lumière, ondulatoire pour certains, ou corpusculaire pour d'autres : selon leur fréquence, selon l'expérience, l'un ou l'autre aspect se manifestera. C'était la **théorie des quantas**, puis la **théorie quantique**.

Alors, comment fut introduite simplement l'expression "**mécanique quantique**" pour parler de la théorie quantique : Il semble que ce fut vraiment vers 1925 lorsque les particules élémentaires sont comme des « ondes-corpuscules » en appliquant la formule de de Broglie. ... Comment expliquer alors que nous n'observons pas, à notre échelle, cette dualité ? Il suffit de considérer la longueur d'onde de de Broglie pour des objets macroscopiques. Après avoir écrit l'équation de de Broglie $\lambda = h/p$ où h est la constante de Planck, p est l'impulsion de la particule et λ la longueur d'onde de l'onde associée; des calculs élémentaires permettent de conclure en introduisant le mot "mécanique" Tous les résultats de **mécanique quantique** s'appliquent aux objets macroscopiques, car la mécanique dite « classique » peut être vue comme un cas limite lorsque λ tend vers 0 de la mécanique quantique. Mais on peut ignorer certains de ses effets, négligeables à notre échelle et étudier des objets en terme de trajectoire. Au même moment E. Schrödinger l'appelait "**mécanique ondulatoire**". Cf. Formalisme et interprétation physique chez Schrödinger de Michel Paty, 2007, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00167126>.

Comme pour Richard Monvoisin, "*Quantoc : l'art d'accommoder le mot quantique à toutes les sauces*", 2011, *Bulletin de l'Union des Physiciens (BUP Vol. 105 N°935 pp 679-700)*, **cela ne me satisfaisait pas** car j'avais remarqué qu'en 1905 Einstein a publié 3 fois dont un article sur le mouvement brownien. Ce mouvement permet de décrire le comportement thermodynamique de la théorie cinétique des gaz. "En 1905, [Albert Einstein](#) donne une description quantitative du mouvement brownien et indique notamment que des mesures faites sur le mouvement permettent d'en déduire leur dimension moléculaire. [Jean Perrin](#) réalise ce programme et publie en 1909 une valeur du [nombre d'Avogadro](#), ce qui lui vaut un prix Nobel en 1926" précise wikipedia. Il faut noter aussi que Paul Langevin a développé cette approche brownienne d'Einstein en 1908. Ce fait m'avait très intéressé en tant que mathématicien, car le mouvement brownien est une trajectoire fractale ayant des propriétés surprenantes en particulier celui d'être une courbe fractale 1/2 fois différentiable exactement, donc de dimension fractale usuelle $2-1/2=3/2$ (Hurst 1951), ce qui s'exprime autrement comme étant une courbe ne dépendant pas du passé et n'influençant pas l'avenir par rapport à la variable temporelle de dérivation; oui mathématiquement c'est très élaboré et délicat et cela dépend du prolongement analytique (sur les nombres complexes) de l'opérateur de dérivation. Ce prolongement analytique a été défini au 19ème siècle par ce qu'on appelle les deux "intégrations fractionnaires", l'une de Riemann-Liouville pour une catégorie de fonctions et l'autre de Weierstrass pour une autre catégorie de fonctions : on a des trajectoires fractales. Or l'une se comporte très bien pour la transformation de Fourier et l'autre pour la transformation de Laplace. Oui ce n'est pas évident et pourtant c'est extraordinaire, on peut dériver 1/2 fois ou z fois, z un nombre complexe par exemple avec $z=1/2+iy$; j'ai simplifié grandement de nombreux calculs sur des suites, séries ou intégrales de fonctions (2 lignes de preuve remplaçant parfois des dizaines de pages de calculs horribles); c'est Tom Koorwinder un hollandais, il fut rapporteur de ma thèse en 1987, qui m'avait appris ces outils techniques très très peu connus et pourtant anciens, je l'en remercie encore aujourd'hui.

Pour moi, l'expression "**mécanique brownienne fractale quantique**" serait justifiée; c'est juste l'apport d'un matheux qui a eu la chance de travailler sur l'extension des transformations de Fourier et de Laplace sur les groupes de Poincaré et de de Sitter (merci J. Braconnier qui m'a lancé en 1971 et G. Arzac qui a conduit ma thèse dès 1974). Cette définition permet de comprendre pas mal de choses :

i) le temps, et idem l'espace ne peuvent être objectivé; un espace-temps mathématique n'est vraiment qu'un concept fictionnel qui n'a aucun sens physiquement parlant, i.e. qui ne peut être l'objet d'aucune mesure expérimentale possible; c'est un espace de paramétrage d'un domaine de la réalité que l'on considère a priori.

ii) Si la région de validité de la théorie quantique couvre toutes les trajectoires browniennes possibles, donc les trajectoires 1/2 fois différentiable (presque partout) la conséquence surprenante est que les trajectoires possibles selon la relativité générale étant deux fois différentiables, la région de validité de cette relativité générale n'existe pas théoriquement; mais la différence entre la trajectoire brownienne et son approximation relativiste n'étant plus mesurable expérimentalement parlant au-delà de l'échelle atomique ($n \leq 170$ pour le nombre quantique d'un tel atome dit superlourd), la relativité générale devient correcte ou valide expérimentalement parlant au-delà de cette échelle qui précise donc la région de réalité de cette théorie de la gravitation.

On pourra consulter https://fr.wikipedia.org/wiki/Mouvement_brownien_fractionnaire et https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_diff%C3%A9rentielle_stochastique.

La leçon épistémologique à retenir est qu'une modélisation théoriquement erronée soit valide expérimentalement parlant. Là on est vraiment très loin de la folie furieuse de vouloir quantifier la gravitation!

C'est une présentation heuristique d'une "**mécanique brownienne fractale de la chimie quantique**". Cette mécanique fractale brownienne est à mi-chemin d'une mécanique continue 0 fois dérivable et d'une mécanique 1 fois dérivable, mais loin de la mécanique deux fois dérivable de la gravitation aussi bien celle de Newton que celle d'Einstein. Alors, revenons à Zénon dont les 4

paradoxes entre "atomistique" et "divisible à l'infini" sont résolus dans la cadre de la théorie ZFC; dans ce même cadre, les paradoxes de Zénon sont résolus en prenant comme axiome supplémentaire l'axiome physique de Planck sur l'énergie et le fait de ne prendre comme fonctions de \mathbb{R} dans \mathbb{R} pour les trajectoires, que celles qui sont fractales et de dimension de dérivabilité $1/2$ presque partout. Comme le mouvement brownien est un processus stochastique (voir Kolmogorov, vers 1940), alors toutes les interprétations probabilistes usuelles sont de fait. Ce serait une belle "connexion nomologique" au sens de Heisenberg, et peut-être d'un ordre supérieur, l'avenir nous le dira.

Conclusion : partons tout simplement du tableau des mesures du nombre d'Avogadro qui fut présenté par Jean Perrin en 1913 dans son livre *Les Atomes*, Félix Alcan, 1913 :

Estimation du nombre d'Avogadro

Phénomène physique	Valeur déduite
Viscosité des gaz	$6,2 \times 10^{23}$
Mouvement brownien (répartition de particules)	$6,83 \times 10^{23}$
Mouvement brownien (déplacement de particules)	$6,88 \times 10^{23}$
Mouvement brownien (rotation de particules)	$6,5 \times 10^{23}$
Mouvement brownien (diffusion de particules)	$6,9 \times 10^{23}$
Opalescence critique	$7,5 \times 10^{23}$
Couleur du ciel	$4,5 \times 10^{23} - 7,5 \times 10^{23}$
Spectre de corps noir	$6,4 \times 10^{23}$
Charge électrique d'un gaz ionisé	$6,8 \times 10^{23}$
Radioactivité α (particules émises par un échantillon de radium)	$6,25 \times 10^{23}$
Radioactivité α (masse d'hélium émise par un échantillon de radium)	$6,4 \times 10^{23}$
Radioactivité α (masse de radium disparue)	$7,1 \times 10^{23}$
Radioactivité α (énergie rayonnée par un échantillon de radium)	$6,0 \times 10^{23}$

Sur les 13 mesures, les 4 premières utilisent le mouvement brownien sous différents aspects dans la présentation d'Einstein de 1905, avec l'atome du carbone 12 (atome de la vie!); les 4 dernières utilisent l'atome de radium, (atome radioactif de la mort!) sous différents aspects également; n'est-ce pas surprenant? Comme en 1940 Kolmogorov a montré que le mouvement brownien est un processus stochastique fractal de dimension fractale usuelle $D=3/2$ ($= 2 -$ la dimension de dérivabilité), on a une voie directe qui mène aux aspects probabilistes de la théorie quantique. On est en droit de penser que quantifier l'énergie des atomes chimique est équivalent à une mécanique brownienne comme processus stochastique. On a ainsi deux réalisations de la connexion nomologique d'ordre supérieur de la théorie quantique, l'une vers la chimie atomique quantique en terme d'énergie et l'autre vers les mathématiques browniennes en terme de trajectoire fractale.

Et entre les deux, tous les domaines de la physique ont eu des retombées majeures depuis 1945 par complémentarité de leur domaine respectif avec l'une de ces connexions d'ordre supérieur, comme il est dit plus haut "*Pour l'étude des propriétés (macroscopiques) des solides on part du comportement quantique. De ce comportement on en déduit des grandeurs macroscopiques, comme par exemple la susceptibilité diélectrique, la conductivité électronique (et même la supraconductivité qui ne peut pas être plus d'origine quantique), la susceptibilité magnétique, la conductivité thermique, propriétés mécaniques, etc.*

C'est ainsi qu'ont été créés de nouveaux objets performants comme le laser, le led, le transistor quantique, etc.

Eléments bibliographiques

E. Wigner, On unitary representations of the inhomogeneous Lorentz group, *Annals of Mathematics*, Vol 40 n°1, 1939, <https://ysfine.com/wigner/wig39.jpg>

E. P. Wigner. *Group theory and its application to the quantum mechanics of atomic spectra*. Academic Press, 1959. Wigner, E., 1932, *Phys. Rev.* 40, 749.

Semi-groupes de causalité et formalisme hilbertien de la mécanique quantique

Michel Mizony, Publications du Département de mathématiques (Lyon), no. 3B (1984), p. 47-64
http://www.numdam.org/item/?id=PDML_1984__3B_A5_0

Le point en 2017 sur Mendeleiev : <https://hal.archives-ouvertes.fr/in2p3-01578909>. Voir, paru en 2019 dans "le Monde": <http://huet.blog.lemonde.fr/2019/01/21/physique-le-cern-propose-un-accelereur-de-100-km/>

Richard Monvoisin, "*Quantoc : l'art d'accommoder le mot quantique à toutes les sauces*", 2011, *Bulletin de l'Union des Physiciens (BUP Vol. 105 N°935 pp 679-700)*;

<https://cortecs.org/cours/quantoc-lart-daccommoder-le-mot-quantique-a-toutes-les-sauces/>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Mouvement_brownien_fractionnaire; Kolmogorov, 1940.

https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_diff%C3%A9rentielle_stochastique.

Mouvement brownien et intégrale d'Itô, Silvère Bonnabel,

MINES ParisTech, Unité Mathématiques et Systèmes.

Formalisme et interprétation physique chez Schrödinger, Michel Paty

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00167126>.

L'histoire des probabilités connaît une date charnière : en 1933, parution des *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung* (Fondements de la Théorie des Probabilités) d'Andreï Kolmogorov.

Paul Levy, *Processus stochastiques et mouvement brownien* Gauthier-Villars, 1948 .

https://fr.wikipedia.org/wiki/Nombre_d%27Avogadro; tableau de Jean Perrin, *Les Atomes* (Félix Alcan, 1913, 300 pages) . "L'expression de « mécanique quantique » fut utilisée pour la première

fois en 1924 par Max Born dans son article *Zur Quantenmechanik*." écrit dans https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_m%C3%A9canique_quantique.

Louis de Broglie, 3 notes en 1923, thèse en 1924 (*Recherches sur la théorie des Quanta*).

Thèse page 7 :

Dans les premières années du xx^e siècle, les deux nuages
de lord Kelvin se sont, si je puis dire, condensés l'un en la
théorie de Relativité, l'autre en la théorie des Quanta.

puis thèse page 56 :

Nous arrivons donc à l'énoncé suivant :

« Le principe de Fermat appliqué à l'onde de phase est identique au principe de Maupertuis appliqué au mobile ; les trajectoires dynamiquement possibles du mobile sont identiques aux rayons possibles de l'onde. »

Nous pensons que cette idée d'une relation profonde entre les deux grands principes de l'Optique Géométrique et de la Dynamique pourrait être un guide précieux pour réaliser la synthèse des ondes et des quanta.

Jamais de Broglie utilise "mécanique quantique" mais très souvent "mécanique statistique"; pour lui il y avait avant tout la "théorie des quanta". Il a parfois utilisé "mécanique ondulatoire", justifiée dans la citation ci-dessus. Il est souvent affirmé que c'est Born en 1924 qui est le premier à avoir nommé la théorie des quanta par l'expression malheureuse de "mécanique quantique".