

L'origine de toutes choses est le *Logos*

La physique quantique sur la voie d'une réalité non-spatiale

Martin Wigand

Dans nos manuels scolaires, nous lisons que tout est construit d'atomes qui consistent à leur tour en de toutes petites « particules élémentaires ». Les images y suggèrent que les atomes seraient des billes matérielles — et cette représentation vit plus ou moins consciemment dans l'image que l'être humain moderne se fait globalement du monde. Dans une telle image, il n'y pas de place pour une activité spirituelle. Ce faisant les résultats expérimentaux de la physique quantique dans ces dernières décennies ont mené à ce que les physiciens se voient forcés de repenser totalement de neuf nos concepts jusqu'à aujourd'hui, autant de la matière que de l'espace et du temps. Le présent essai tente de présenter un aperçu de cette évolution.

À la fin du 19^{ème} siècle, on se représentait encore les atomes comme des petites sphères ou dés, reliés les uns avec les autres par des agrafes et œillets. Rudolf Steiner — comme quelques physiciens dirigeants de son époque, par exemple Ernst Mach — se tourna déjà à l'âge de 21 ans, contre cette représentation primitive, dans son essai : *Une seule critique singulière éventuelle des concepts atomistiques*.¹ Car la question évidente s'y rattachant a la teneur suivante : En quoi consistent de telles sphères ? Depuis cette époque, notre représentation des « pierres de construction » de la matière s'est fondamentalement modifiée. En cela le rôle de la mathématique est remarquable dans l'évolution de la théorie des quanta.

Déjà dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle, James Maxwell avait récapitulé en une théorie homogène le magnétisme et l'électricité avec ses célèbres équations. D'une manière purement mathématique s'en laissa dériver l'existence possible d'ondes électromagnétiques et aussi leur vitesse de propagation. Au grand étonnement des physiciens, celle-ci était identique à celle déjà connue de la lumière. Au moment où les ondes électromagnétiques purent être effectivement engendrées et depuis qu'elles ont fondamentalement changé notre monde, il fut solidement établi par les physiciens que la lumière était pareillement une telle onde. Depuis on parle du spectre électromagnétique qui englobe le rayonnement Röntgen et les ondes radio, comme la lumière visible, l'UV et l'infrarouge.

Celui-ci et d'autres triomphes de la physique théorique menèrent à une confiance presque totale dans les formules mathématiques. La perplexité fut d'autant plus grande au moment où celles-ci se montrèrent défailtantes, au sujet du rayonnement des corps noirs. Il s'agit à l'occasion d'un rayonnement qu'émet un corps noir idéal lors de différentes températures. Le fer chauffé brille tout d'abord en rouge sombre, ensuite il s'éclaircit de plus en plus, jusqu'à atteindre finalement l'incandescence. Un phénomène connu — mais les équations de Maxwell si couronnées de succès sinon échouent à rendre explicable.

Le dualisme onde-particule

En 1900 Max Planck réussit ici la percée. Des semaines durant, il avait tenté d'accorder sa formule aux résultats des mesures. Il n'y parvint qu'en se résolvant à accomplir un pas audacieux. Jusqu'alors, Planck avait été un opposant de la représentation d'alors de l'atome, il ne croyait pas aux particules de la matière. Mais du fait que sa formule correspondit aux résultats de ses mesures, il dut admettre que le rayonnement consiste en paquets d'énergie tout petits, pour ainsi dire des atomes d'énergie. Dont la grandeur se laissait calculer comme la fréquence de rayonnement f , multipliée par un tout petit nombre h , par la suite appelé « quantum d'effet Planck ». Au cours de la décennie suivante ceci devint l'une des formules les plus célèbres de la physique $E = hf$. Ainsi naquit l'idée du quantum. Mais cette formule correspondait-elle à la réalité ? Les physiciens de l'époque étaient sceptiques. On « savait » pour finir qu'un rayonnement électromagnétique est une onde, mais de petites particules d'énergie ne donnaient aucun sens à cela. Après quelques autres essais pour dévoiler l'énigme du rayonnement des corps noirs, la formule fut donc mise de côté.

En, 1905, un employé inconnu du service des brevets de Zurich, au nom d'Albert Einstein, prit connaissance de la formule de Planck par la lecture. Il comprit que la consolidation logique de celle-ci était insuffisante. Ainsi d'emblée, il partit des « atomes d'énergie » dans le rayonnement et put de cette façon en dériver une formule identique. Il appliqua cette nouvelle idée des quanta avec succès sur un autre effet non expliqué, l'effet photo-électrique. Pourtant ses collègues restaient sceptiques. La conviction s'avérait trop solide que la lumière est une onde et ne consistait pas en particules.

¹ Voir Rudolf Steiner : *Sur l'atomisme. Deux essais tirés de l'œuvre précoce* (Contributions à l'édition complète des œuvres de Rudolf Steiner : GA 63), Dornach 1978, pp.5-10.

Nous allons brièvement réfléchir à ce sur quoi reposait une telle conviction. Si l'on envoie des vagues d'eau au travers de deux fentes qui sont proches l'une de l'autre (expérimentation en double fente), un modèle géométrique en ressort qui dépend de la longueur d'onde des vagues. On peut comprendre aisément la relation entre la vitesse des vagues, leur longueur et leur fréquence. Si l'on envoie une lumière monochromatique au travers d'une double fente de dimension appropriée (c'est-à-dire très petite), il en résulte un modèle semblable. Par conclusion analogique, on peut coordonner chaque couleur de la lumière à une longueur d'onde. Étant donné que la vitesse de la lumière est connue (quelle que soit sa signification exactement), on peut en calculer aussi une fréquence.

À partir de ces observations, on en conclut habituellement que la lumière est une onde. Mais une telle conclusion était-elle impérative pour autant ? En aucun cas. C'est à partir de l'observation de l'eau que nous avons formé les concepts de *longueur d'onde* et de *fréquence*. Représentons-nous avec cela des vagues idéalisées, avec les mêmes amplitudes et longueurs d'ondes. Mais de telles vagues idéalisées n'existent pas du tout dans la réalité, car les vagues ont des amplitudes différentes et des longueurs différentes. La « vague » du physicien est une abstraction. Nous pouvons seulement créer des conditions, sous lesquelles la lumière engendre un modèle analogue à celui des vagues. Il est vrai qu'avec l'eau nous pouvons observer la manière dont les vagues engendrent le modèle. Pour la lumière nous ne voyons pas de vagues, mais plutôt, par exemple, des noircissures ordonnées de manière rythmique sur une plaque photographique et nous nous représentons des vagues qui pourraient engendrer un tel modèle. Autrement dit : nous nous servons du concept de vague, développé avec l'eau pour expliquer le phénomène d'interférence de la lumière en double fente.

Cela étant il y avait une série d'expérimentations — rayonnement des corps noirs, effet photo-électrique et, quelque peu plus tard, l'effet Compton — qui ne se laissaient pas expliquer par la représentation d'une onde de lumière. Einstein démontra par contre qu'elles se laissaient expliquer par l'idée de la lumière se composant en particules. La question était donc : Comment peut-on unir ces deux représentations, onde et particules ? En physique classique il n'y avait que des ondes *ou* des particules. Peut-on se représenter une sphère qui se déplace selon une trajectoire ondulatoire ? À peine. Il est encore plus difficile d'expliquer le phénomène d'interférence à l'aide des particules. Un sommet de vague [onde] et un creux de vague [onde] peuvent s'annuler réciproquement, mais deux sphères qui se déplacent côte à côte dans la même direction, ne le peuvent pas ! D'un autre côté : dans l'effet Compton la lumière se comporte (plus précisément le rayonnement Röntgen) comme une boule de billard qui en heurte une autre (un électron). Le problème c'était donc, pour le dire exactement : si des ondes ne peuvent pas se heurter comme des sphères, les sphères ne peuvent pas s'annuler comme des ondes. Comment ces deux représentations contradictoires peuvent-elles donc être conciliées et associées ?

La chose en devint même encore plus ardue pour les tenants du modèle simple : En 1924, Louis de Broglie postula que non seulement la lumière n'est pas la seule à avoir des propriétés de particules, mais que chaque « particule » a elle-même des propriétés d'onde ! Il en dérivait même une formule pour la longueur de ces « ondes matérielles ». Cette observation sagace fut confirmée expérimentalement au grand étonnement de nombreux physiciens, en 1927 : Clinton Davisson et Lester Germer envoyèrent un rayonnement d'électrons au travers d'un cristal unique de Nickel et ils furent capables d'observer des interférences en accord avec l'hypothèse de De Broglie ! Là-dessus, d'autres « particules élémentaires » furent aussitôt explorées sur leurs propriétés ondulatoires et des protons aussi bien que des neutrons montrent des phénomènes d'interférence sous des conditions correspondantes. Comment devait-on comprendre cela ? Toutes les « pierres de construction » de la matière (électrons, protons et neutrons, découverts en 1932) se comportent donc aussi comme des ondes ? Il semblait impossible de ce représenter de telles « pierres de construction ». La confusion était donc grande.

La naissance de la mécanique quantique

C'est Werner Heisenberg, âgé alors de 23 ans seulement, qui parvint à percer le mystère. Il était clair pour lui que la représentation qui avait cours jusque-là de l'atome à l'instar d'un mini système solaire — dans lequel les électrons, comme les planètes, tournent autour d'un noyau atomique chargé positivement — était intenable. Lorsqu'à l'été 1924, souffrant d'un grave rhume des foins, il se réfugia sur l'île de Helgoland. Il y recouvra la santé, et escalada les rochers à l'entour, apprit par cœur des poèmes du *Divan occidental-oriental* de Goethe et rumina longuement le problème de l'atome. Il était influencé par la théorie de la relativité de Einstein, dans laquelle celui-ci requérait que la physique dût

seulement se référer aux phénomènes expérimentalement observables. Tout ce qui ne l'était pas ne devant pas entrer dans la théorie. Le trajet de l'électron dans l'atome ne peut pas être observé, il fallût donc le laisser tomber. La question était donc de savoir ce qu'on est capable d'observer ? Et la réponse de Heisenberg fut : les raies spectrales.

Les raies spectrales du plus simple des atomes, l'hydrogène, fournissent deux informations : à la couleur observée peuvent être coordonnées une fréquence et une intensité. Tentons de nous représenter l'expérience en question : un faible courant électrique est envoyé sous haute tension dans une tube de verre contenant du gaz hydrogène à très faible pression. Le gaz commence à briller. La lumière est ensuite dirigée au travers d'un réseau de diffraction et on obtient des raies colorées isolées et non pas un spectre arc-en-ciel. A ces raies, des fréquences sont coordonnées dont les intensités peuvent être mesurées.

Ces fréquences et leurs intensités furent les informations d'observation sur l'atome d'hydrogène qu'utilisa Heisenberg. Il les disposa dans un schéma de coordonnées, dans lequel les mathématiciens reconnurent plus tard ce qu'on appelle une matrice et établit des règles de calcul à l'aide desquelles il put reproduire les résultats expérimentaux. Au moment où, après des jours de lutte intense, les chiffres furent concordants et après avoir travaillé toute une nuit durant, il connut une expérience bouleversante :

J'eus le sentiment de regarder, au travers de la surface des phénomènes atomiques, sur une raison se trouvant là-dessous, d'une beauté intérieure remarquable, et ce fut presque étourdissant pour moi de penser que je dusse suivre toute cette abondance de structures mathématiques dont la nature avait fait l'étalage là-dessous devant moi.²

Trouver des « structures mathématiques » devint dès lors le *leitmotiv* des physiciens sur leur cheminement pour explorer la matière. Car toutes les tentatives de se former des représentations spatiales concrètes des processus atomiques, avaient mené à des contradictions impossibles à résoudre. Cela étant, il est aisé de présumer que cette remarquable contradiction entre le comportement de nature ondulatoire et celui de nature « particulière » [*teilchenartig, ndf*] n'apparaît que pour les plus petits objets comme des électrons, protons et neutrons. Mais il n'en est pas ainsi. Entre temps des phénomènes d'interférence purement démontrés en expérimentant sur des molécules C-60.³ Que l'on se figure devant soi, ces molécules de chacune 60 atomes de carbone. Chacune d'elles a une masse des millions de fois supérieure à celle d'un électron. Elles sont bien « visibles » au microscope électronique, tout chimiste les caractériserait vraiment comme de grosses molécules. Or ces molécules sont censées se comporter comme des ondes, une molécule étant censée pouvoir éteindre une autre, au lieu que les masses s'additionnent ? Cela contredit toutes nos représentations concrètes des molécules et de la matière ! Et la théorie énonce que *toutes* les molécules possèdent cette propriété d'onde, à savoir qu'elles peuvent s'éteindre réciproquement. Cela veut dire que la représentation des atomes et molécules sous la forme de boules de billard qui édifie le monde dans les manuels scolaires est fondamentalement fausse.

L'impossibilité des représentations spatiales

Cela n'est pas la seule et unique contradiction au sujet de notre représentation spatiale. Prenez un objet quelconque dans la main. Faites-le tourner sur son axe de 360°. Regardez-le de nouveau avec précision. Pour autant que vous ayez choisi un objet solide, il a le même aspect exactement que celui d'avant la rotation. Prenez ensuite une feuille de papier ordinaire. Tournez-la de 180°. Elle a le même aspect qu'avant. Pareillement si vous la tournez de 360°.

Les mathématiciens disent : un objet que l'on doit tourner de 360°, afin qu'il ressemble à ce qu'il était avant, a un *spin* de 1. S'il a déjà le même aspect après avoir tourné de 180° — comme la feuille de papier ou le carré exact, alors il a un *spin* de 2. Mais pouvez-vous maintenant vous représenter un objet solide et quelconque que l'on doit faire tourner deux fois complètement sur son axe pour qu'il se ressemble de nouveau ? Vous admettez qu'un tel objet n'existe pas et il ne peut pas exister, c'est tout simplement impossible ! Et pourtant, en mécanique quantique de tels objets existent ! Chaque électron,

² Werner Heisenberg : *La partie et le Tout*, Munich 1998, p.77.

³ Voir Markus Arndt, Olaf Nairz, Julian Vos-Andreae, Claudia Keller, Gerbran van der Zouw & Anton Zeilinger : *Wave-particle duality of C60 molecules*, dans : *Nature* 401/680-82 (1999).

proton et neutron a $\frac{1}{2}$ pour valeur de spin, c'est-à-dire qu'il faut le faire successivement tourner deux fois sur lui-même, à savoir une rotation de 720° , afin qu'il ait l'air de ce qu'il était avant ! D'où les physiciens « savent-ils » donc cela ? Parce que seulement ensuite leurs formules mathématiques fournissent le résultat juste ! C'est-à-dire que le monde entier est construit sur des objets qui ne peuvent pas exister du tout !

Alors qu'étudiant en physique, je demandai à mes professeurs, comment est-on censé se représenter une telle « particule » avec une valeur de spin de $\frac{1}{2}$, ils me répondaient alors que c'était là une propriété quantique que l'on ne pouvait point se représenter. Fort bien, c'est impossible ! Cela signifie-t-il maintenant que notre penser ne soit pas en situation de se représenter la réalité ? Ici nous devons méditer la différence qu'il y a entre *comprendre* et *se représenter*. Il est impossible de se représenter un objet ayant pour valeur de spin $\frac{1}{2}$ car nous nous plaçons toujours dans un espace tridimensionnel, avec une longueur, une largeur et une hauteur. La seule et unique conclusion logique c'est que ce ne sont justement pas des objets tridimensionnels ! Nous y reviendrons.

Un autre phénomène fascinant c'est l'intrication quantique, comme on l'appelle. On connaît souvent les propriétés d'un système qui consiste en deux « particules » ou plus, mais pas ses parties constitutives isolées. Prenons, par exemple, deux électrons dont nous savons qu'ils s'éloignent l'un de l'autre et dont nous savons aussi que leur valeur de spin est 0, cela signifie qu'ils ont des spins opposés. Mesurons le spin de l'un, alors nous connaissons aussi celui du second. Au premier coup d'œil cela n'apparaît pas autrement étonnant, mais la théorie quantique énonce que le spin des deux électrons est *indéterminé* avant la mesure. C'est seulement au moyen de l'expérimentation qu'est fixé le spin de l'un et alors on connaît aussi — sans autre mesure — le spin de l'autre. Considéré de manière classique ; il n'y avait que deux possibilités pour comprendre ce phénomène :

- Ces deux électrons avaient déjà un spin déterminé, avant d'en réaliser la mesure, nous ne le connaissions pas encore. Alors la théorie quantique serait nonobstant fautive ou bien incomplète et devrait être remplacée par une théorie meilleure ou plus complète.
- Ou bien l'électron mesuré influence l'autre, d'une façon non encore expliquée de sorte que l'établissement de la première mesure de spin cause celle de la seconde. Du fait que ni l'éloignement des deux électrons l'un de l'autre ne joue de rôle, ni qu'un retard temporel ne semble apparaître, cet effet dut s'ensuivre sans perte de temps. Mais ceci se trouve néanmoins en contradiction avec la théorie de la relativité de Einstein selon laquelle aucun effet plus rapide que la vitesse de la lumière ne peut se répandre.

Einstein attira l'attention sur ce problème dans un article co-rédigé en 1935, avec ses collaborateurs Boris Podolsky et Nathan Rosen . Depuis cette expérience de pensée est devenue célèbre sous l'expression du paradoxe Einstein-Podolsky-Rosen [paradoxe E.P.R., *Ndl*]. Einstein voulait démontrer ainsi que la mécanique quantique ne peut pas être une théorie complète, car la seconde option était exclue dans sa manière de voir. En 1964, pourtant John Stewart Bell, parvint à poser une inégalité — entre temps dénommée comme telle par lui — qui autorisait une vérification expérimentale du paradoxe. Cette inégalité pose de hautes exigences à la construction et à l'exactitude des expérimentations correspondantes. Pourtant la preuve put être apportée à de multiples reprises que la mécanique quantique a raison sur Einstein.

Qu'est-ce que cela veut dire pour nos réflexions ici ? Rien d'autre que de voir que dans des systèmes intriqués, l'éloignement ne joue aucun rôle. Les parties d'un tel système peuvent être arbitrairement très éloignées et former pourtant une unité. Exprimé autrement : ces phénomènes, de par leur nature même, ne sont pas spatiaux ! Cet état de fait, nonobstant très remarquable, est caractérisé aujourd'hui en mécanique quantique comme de « non-localité » de la mécanique quantique. Einstein se refusa jusqu'à la fin de sa vie à accepter ceci, car une réalité « non spatiale » était irréprésentable pour lui. Aujourd'hui ce phénomène d'inséparabilité est déjà techniquement mis en œuvre, en particulier dans ce qu'on appelle des ordinateurs quantiques. — Mais comment pouvons-nous comprendre la non-spatialité de la physique quantique ? Pour cela nous voulons jeter un coup d'œil à l'aspect mathématique de la mécanique quantique.

Le rôle de la mathématique

Il existe actuellement une bonne douzaine d'interprétations mathématiques différentes de la mécanique quantique.⁴ Comment cela est-il donc possible qu'après presque cent ans d'une théorie aussi couronnée

⁴ Voir https://de.wikipedia.org/wiki/Interpretationen_der_Quantenmechanik

de succès ? Lorsqu'on interroge un physicien sur ce sujet, il hausse typiquement les épaules et affirme qu'il ne vaut guère la peine de se casser la tête là-dessus, car on dispose en effet finalement des formules et méthodes de la théorie quantique avec lesquelles on peut faire des prédictions très précises. Nous avons donc aussi ici le phénomène intéressant d'un formalisme mathématiques universellement reconnu, dont l'interprétation demeure nonobstant inexpliquée.

Dans les manuels de physique quantique, les méthodes mathématique sont commentées en détail sans refléter la « qualité » de la mathématique mise en œuvre. Dans ce qui va suivre on va tenter de prendre en considération d'un peu plus près ces « qualités ». À cette occasion, je m'appuie sur une indication de Rudolf Steiner :

Et lorsqu'on entre réellement dans le domaine de la réalité supérieure sur ce qu'est le physique-réel et que l'on caractérise celui-ci d'un signe positif, alors on est nécessairement contraint d'en arriver à ce qui est réellement éthérique, à l'occasion de quoi on sort du spatial et on entre donc dans le spirituel déjà, en pourvoyant le signe négatif. Veuille-t-on entrer dans l'astral, on ne s'arrange pas dès lors avec le spatial ou le non-spatial, mais on doit plutôt en arriver à entrer dans un tiers élément qui se comporte vis-à-vis du positif et du négatif exactement comme en mathématique formelle l'imaginaire vis-à-vis du positif et du négatif. Et l'on serait alors même astreint, lorsqu'on passe du niveau astral à l'entité authentique du Je, de mettre par écrit un concept qui fût super-imaginaire en rapport avec le concept d'imaginaire. [...] Or, il n'est pas possible, de lui laisser libre cours — il s'agit seulement de savoir si on l'emploie d'une manière juste [...], de sorte que l'on ne sorte pas de la réalité.⁵

Pour ne pas sortir de la réalité avec les formulations mathématiques — que veut-il dire par là ? Un premier pas peut être de ne pas concevoir ce domaine du nombre seulement de manière abstraite, mais de le remplir d'une expérience, en ayant recours à l'être humain entier et pas seulement à sa tête. Avec ce qu'est le réel physique, nous nous représentons la matière remplissant l'espace. C'est le domaine des nombres positifs. Avec le signe négatif pour l'éthérique, nous pouvons nous représenter un effet absorbant [ou effet « suçant », *ndt*], dissolvant la matière.⁶

Le concept des nombres complexes n'est généralement pas connu, raison pour laquelle nous allons le commenter ici brièvement. Nous avons appris à l'école qu'aucune racine « n'existe » à un nombre négatif, car aucun nombre réel ne résulte d'un nombre négatif multiplié par lui-même. Mais les mathématiciens de la Renaissance ne s'avouaient guère satisfaits de cela et ils développèrent pas à pas le concept des nombres imaginaires, pour lequel Leonhard Euler, au commencement du 18^{ème} siècle, introduisit le nombre imaginaire « *i* » : $i = \sqrt{-1}$. Gottfried Wilhelm Leibnitz le désigna, en 1702 comme « un refuge subtil et admirable de l'esprit divin, presque une essence intermédiaire entre l'être et le non-être ».⁷

Comment peut-on se représenter un nombre imaginaire ? Nombres positifs ou négatifs on peut se les figurer comme des paires de nombres, ce par quoi, vis-à-vis de ce que Steiner avait à l'esprit, c'est bien une abstraction. Mais les nombres imaginaires n'ont aucune place dans ces paires. Pour les représenter, on introduit un axe à angle droit sur l'axe réel, un axe imaginaire ; un nombre complexe est alors comme un point représentable à ce niveau, avec une participation réelle et une participation imaginaire. Ces nombres se sont avérés dans la théorie mathématique comme très utilisables et les physiciens peuvent les utiliser pour une représentation simplifiée des processus oscillatoires.

Dans la physique quantique leur signification va bien au-delà d'une banale utilité, car les processus quantiques sont décrits comme des processus dans l'espace avec des coordonnées complexes. Tentons de nous représenter cela : en physique classique des processus sont décrits dans un espace tridimensionnel avec trois axes de coordonnées, *x*, *y* et *z*. Depuis Einstein, on y ajoute un axe imaginaire. Dans la physique quantique, les axes de coordonnées eux-mêmes sont déjà complexes, à savoir chaque axe a lui-même une dimension réelle et une dimension imaginaire ! Et le nombre des axes utilisés dépend du positionnement spécial du problème. Autrement dit : les équations de la physique quantique décrivent des processus qui ne se déroulent plus dans notre espace tridimensionnel ordinaire !

⁵ Rudolf Steiner : *Impulsions de science spirituelle pour le développement de la physique II*, (GA 321), Dornach 2000, p.234.

⁶ Voir à l'endroit cité précédemment, p.160.

⁷ Heinz-Dieter Ebbinghaus *et al.* (éditeurs): „*Zahlen [Nombres]*“, Berlin & Heidelberg 1983, p.48.

Et les nombres supra-imaginaires que Rudolf Steiner coordonne au Je ? Peter Gschwind s'est confronté dans le détail avec cette interrogation. Il en vint à la conclusion que Steiner pensait à certaines formes de matrices supérieures qui sont caractérisées en physique quantique comme des « opérateurs ».⁸

Faire le calcul du sensible à partir du supra-sensible

Cela étant, les expérimentations correspondantes ont lieu dans notre espace ordinaire. Dans le formalisme de la mécanique quantique, l'agencement expérimental est représenté par un opérateur ou bien, selon le cas, une matrice. Au plan géométrique, des matrices se laissent interpréter comme des instructions d'illustration décrivant des réflexions, rotations ou extensions. Dans la physique quantique le choix de la matrice appropriée est déterminé par l'agencement expérimental. Veux-je déterminer le lieu d'une « particule », alors la matrice projette le vecteur d'état abstrait, qui est aussi appelé fonction d'onde, renfermant toutes les connaissances de la « particule », sur un système approprié de coordonnées *spatiales* complexes. Si je veux déterminer la vitesse (plus précisément l'impulsion, qui est étroitement liée à la propriété d'onde de la « particule »), ainsi l'édification expérimentale est décrite par une matrice qui projette le même vecteur d'état sur le système des coordonnées, dont les axes représentent des *vitesse*s ou selon le cas des *impulsions*. (D'une manière intéressante la théorie quantique affirme qu'il n'est pas possible de déterminer en même temps le lieu et la vitesse d'une « particule » pour le moins sans précision. Ce phénomène est connu comme la relation d'incertitude de Heisenberg.) Le tout sonne plutôt de manière très complexe et ça l'est aussi. Il s'agit ici de ce qu'on appelle un « collapsus de la fonction d'onde lors du processus de mesure ». Je vais rendre cela palpable au moyen d'une comparaison suggestive. Représentez-vous une boîte de conserve cylindrique, et en outre un projecteur qui l'éclaire et projette donc son ombre sur un écran. Selon la direction de projection, l'ombre peut être un rectangle ou un cercle. Cela étant représentez vous encore que vous ne pourriez n'apercevoir que l'ombre et que vous n'auriez donc a priori aucun percept d'objets tridimensionnels en tête. Alors vous auriez le phénomène suivant que le même objet inconnu, selon l'agencement expérimental, vous donnât une fois un cercle, une autre fois un rectangle. Soit une contradiction semblant impossible à résoudre ! Car elle ne se résout que si l'on reconnaît le caractère tridimensionnel de l'objet en question, lequel n'est ni un cercle, ni un rectangle, mais justement un cylindre. Ainsi cela se comporte-t-il dans la mécanique quantique. Il n'existe aucune possibilité de résoudre la contradiction entre propriété particulière et propriété ondulatoire tant qu'on se représente spatialement les pierres de construction du monde. Le formalisme de la mécanique quantique décrit le processus de mesure comme la projection d'objets extra-spatiaux dans le monde de notre expérience. Et la nature de la projection — à savoir de l'expérimentation — détermine si l'objet non-spatial se montre comme une onde ou comme une particule ! La physicienne américaine, Ruth Kastner, exprime cela ainsi :

La physique quantique exige que nous pensions « au-delà du bord de l'assiette » et ce bord d'assiette se démasque comme l'espace-temps lui-même. Le message de la physique quantique c'est qu'il n'y a pas seulement aucun espace absolu ou aucun temps absolu., mais cette réalité va bien plutôt au-delà de l'espace-temps. Pour parler en images, un espace-temps c'est le « sommet de l'iceberg » : sous la surface se trouve un gigantesque monde invisible de possibilités qui est décrit par la physique quantique. Ce n'est aucunement une idée nouvelle : Un autre fondateur de la théorie quantique, Werner Heisenberg, expliqua qu'un objet quantique « c'est quelque chose, qui est entre l'idée d'un événement et l'événement factuel, donc une sorte singulière de réalité physique qui se situe exactement au milieu entre la possibilité et la réalité. » Heisenberg appelait celle-ci une « *potenzia* », un concept qui fut originellement introduit par le philosophe grec Aristote.⁹

Et Rudolf Steiner disait déjà en 1904, dans son essai *Mathématique et occultisme* :

⁸ Voir Peter Gschwind : *Zum Konzept der Ich-Zahlen [Au sujet du concept des nombres-Je]* dans *Mathematische-Physikalische Korrespondenz* n°267 (hiver 2016/17).

⁹ Ruth Kastner dans *Quantum Physics and The Need For A New Paradigm* —

[www.npr.org/sections/13.7/2015/09/27/443892221/quantum-physics-and-the-need-fo-a-new-paradigm?](http://www.npr.org/sections/13.7/2015/09/27/443892221/quantum-physics-and-the-need-fo-a-new-paradigm?hpid=hp-top-story%3Aquantum-physics-and-the-need-fo-a-new-paradigm&hpid=hp-top-story%3Aquantum-physics-and-the-need-fo-a-new-paradigm)

[t=1591814287890](http://www.npr.org/sections/13.7/2015/09/27/443892221/quantum-physics-and-the-need-fo-a-new-paradigm?hpid=hp-top-story%3Aquantum-physics-and-the-need-fo-a-new-paradigm&hpid=hp-top-story%3Aquantum-physics-and-the-need-fo-a-new-paradigm) — Kastner est une physicienne quantique du le groupe “Fondements de la physique” à l'université de Maryland, USA. Elle est l'auteure de divers ouvrages, entre autre *Understanding Our Unseen Reality [Comprendre notre réalité non vue]*, Solving Quantum Riddles, Londres 2015.

La création mathématique plane à la frontière entre le monde sensible et le monde purement spirituel. [...] C'est l'élément essentiel de l'intuition mathématique qui pour moi conduit une figure sensible individuelle au-delà d'elle-même, de sorte qu'elle ne peut plus être pour moi qu'une métaphore d'un vaste fait spirituel. [...] Cela étant le connaître mathématique a réalisé à notre époque d'importants progrès. S'est réalisé aussi à l'intérieur de ce même un pas important dans le suprasensible. [...] Par l'utilisation du calcul infinitésimal sur les processus de la nature en mécanique et en physique, nous n'accomplissons rien d'autre qu'un calcul du sensible à partir du suprasensible. Nous appréhendons le premier à partir de son commencement ou bien de son origine suprasensible. Pour la vision sensible, intuitive et immédiate, la différentielle est un point ou le zéro. Pour l'appréhension spirituelle cependant, ce point est vivant, car le zéro devient la cause première. L'espace lui-même en est ainsi animé pour l'appréhension du spirituel. Si nous le saisissons sensiblement, alors ses points, ses parties infiniment petites sont mortes ; mais si nous les saisissons comme des grandeurs différentielles, alors une vie intérieure surgit dans son accotement à la mort. L'extension elle-même devient ainsi le produit de ce qui est sans extension. Ainsi par le calcul infinitésimal, une vie naît dans le connaissance de la nature. Le sensible est reconduit jusqu'au point du suprasensible.¹⁰

Ce qu'il y a d'essentiel ici c'est bien que dans ce formalisme de la physique quantique, aussi bien le calcul infinitésimal (aujourd'hui appelé calcul différentiel) que le nombre-Je (*Ich-Zahlen*) de Steiner, tous deux, en tant qu'opérateurs, y jouent un rôle central. Avec cette mathématique « supra-sensible », il parvient à décrire des phénomènes situés au domaine frontalier entre matière et esprit.

De nouveaux concepts de l'espace et du temps

De ce qui précède, il devient évident que des électrons, atomes, molécules et autres, ne sont pas ces petites sphères comme celles schématisées dans nos manuels scolaires. Les paradoxes de la physique quantique montrent beaucoup plus qu'il est impossible de les concevoir comme des formations sensibles au sens usuel du terme. Depuis plus de cent ans, des physiciens s'efforcent de comprendre ces phénomènes sans en arriver à une interprétation généralement reconnue. C'est la situation classique qui prévaut au sein d'une discipline scientifique qui précède juste un changement de paradigmes, telle que l'a décrite Thomas Kuhn, dans son ouvrage *La structure de la révolution scientifique* (1962) : une vaste théorie englobante, telle que la mécanique quantique, par exemple, permet aux scientifiques de comprendre de nombreux phénomènes sur un laps de temps assez long et aussi des prédictions sur d'autres expérimentations. Mais le moment survient où des problèmes irrésolus s'accumulent en exigeant de nouveaux éclaircissements, bref, c'est l'aurore d'un changement de paradigmes. L'aspect singulier de la situation actuelle repose maintenant sur le fait que l'aspect mathématique de la théorie « fonctionne bien » certes, mais que nous ne comprenons plus ce que disent véritablement ses formulations. Adressons-nous une fois encore pour cette raison à la mathématique. Celle de la mécanique quantique nous conduit hors du domaine du sensible dans un domaine suprasensible. Accepter cela, c'est naturellement très difficile pour un physicien éduqué, puis formé dans une physique d'école matérialiste. Quel devrait donc être l'aspect de ce changement de paradigmes ? Le physicien Anton Zeilinger pense à ce sujet :

Il semble donc que la physique quantique, lorsqu'il s'agit de mesures dans le domaine des particules intriquées, ne connaît ni l'espace ni le temps. Il reste à attendre quelles conséquences ceci entraîne pour nos représentations de l'espace et du temps. L'espace-temps lui-même ne semble pas exclu de telles réflexions. Je propose que nous ayons besoin d'une analyse profonde de l'espace-temps, une analyse d'ordre conceptionnel, qui corresponde possiblement à celle du Congrès du physicien et philosophe de Vienne, Ernst Mach, un congrès qui a précipité de son trône l'espace absolu de Newton. L'espoir c'est que nous ayons une nouvelle physique qui sera analogue à la nouvelle physique de Einstein dans les deux théories de la relativité.¹¹

¹⁰ Rudolf Steiner : *Mathématique & occultisme* (GA 35), Dornach 1984, pp.8-13.

¹¹ Anton Zeilinger : *Quantum Entanglement Is Independent Of Space And Time [L'intrication quantique est indépendante de l'espace et du temps]* — www.edge.org/response-detail/26790

Une nouvelle analyse profonde de l'espace-temps — mais c'est exactement ce que Rudolf Steiner a produite ! Pour lui, espace et temps n'étaient ni des perceptions sensibles, ni *a priori* des catégories données, comme les a pensées Immanuel Kant. Je ne peux ni voir, ni saisir l'espace en soi, pas plus que le temps en soi. Ce sont beaucoup plus des concepts formés à la perception. Il s'ensuit que ni l'espace ni le temps n'existent « en soi », ce sont plutôt des abstractions construites à partir des perceptions sensibles.¹² Que l'espace est un concept qui exige une activité idéale, cela devient particulièrement évident chez les aveugles-nés qui apprennent à voir seulement après une opération. Il leur faut quelques temps pour qu'ils puissent voir l'espace et tous n'y parviennent pas. Le « voir » spatialement c'est une faculté portée et apprise par la pensée et au sujet du temps, Rudolf Steiner remarque qu'il

n'apparaît que là où *l'être / l'essence* d'une chose entre en *apparition* (in die *Erscheinung* tritt). Le temps appartient au domaine phénoménal. Il n'a encore rien à faire avec l'être/l'essence. Ce dernier n'est à saisir qu'idéellement. Seul celui qui dans son cheminement du penser ne peut pas accomplir ce retrait du phénoménal à l'essence, hypostase dès lors le temps comme précédant des faits. Cependant il a besoin d'une existence qui perdure aux changements. En tant que tel, il saisit la matière indestructible. Ainsi a-t-il créé une chose à laquelle le temps ne va pas donner prise, un élément immuable dans tout changement. Mais à proprement parler, il n'a fait que montrer une incapacité à pénétrer de l'apparition temporelle des faits à leur essence qui n'a rien à faire avec le temps. Puis-je donc affirmer de l'essence d'une chose : elle naît ou trépassé ? Je ne peux qu'affirmer que son contenu conditionne autre chose et qu'ensuite cette condition apparaît comme une succession temporelle. L'essence d'une chose ne peut pas être détruite ; car elle est en dehors de tout temps et conditionne même ce dernier. Ainsi avons nous projeté un éclairage sur deux concepts en même temps, pour lesquels il y a encore assez peu de compréhension, *l'essence et l'apparition*. Celui qui saisit l'affaire correctement ne peut pas partir en quête d'une preuve d'indestructibilité de l'essence, parce que la destruction du concept du temps se ferme en soi, lequel n'a rien à faire avec l'être/essence.¹³

Étant donné que chercheurs et philosophes actuels ne peuvent pas ou ne veulent pas reconnaître la réalité spirituelle des concepts, ils n'ont pas non plus la capacité de penser la différence entre *l'être/essence* et *l'apparition*. Pour avoir néanmoins un terrain solide, le concept de durée, l'indestructibilité qui appartient véritablement à *l'essence* d'une chose, est projetée dans le monde physique sous la forme des axiomes de conservation, comme la conservation de l'énergie (à l'occasion la masse y est incluse comme cas spécial), impulsion et charge électrique.

Êtres spirituels au lieu de particules élémentaires

Est-il pensable qu'un physicien compétent accepte la dimension spirituelle de la réalité ? Foncièrement ! Ainsi l'élève bien connu de Heisenberg, Hans-Peter Dürr :

Aux profondeurs difficilement intelligibles, dans le monde de l'infiniment petit, les « choses » ne sont principalement pas des choses — c'est pourquoi la révolution ne veut pas entrer dans les têtes. [...] Il n'y a pas de choses, il n'y a que forme et changement de structure : la matière n'est pas [ou même plus, *ndt*] composée de matière, mais au contraire d'être/essence de formes et de potentialités. Au fond, il n'y a que l'esprit, mais il s'encroûte et nous ne percevons que l'encroûtement, comme une matière.¹⁴

Il n'existe pas de choses, seulement des êtres de forme ! Il n'existe que l'esprit qui s'encroûte en matière ! À un autre endroit Dürr dit encore :

À partir d'une vision de mécanique quantique, il n'existe pas non plus de monde temporel généralement objectivable, ce monde se produit plutôt pour ainsi dire à tout instant de neuf. Le monde apparaît ici comme une unité, comme un état unique qui ne se laisse pas interpréter comme une somme d'états particuliers. Le monde « maintenant » n'est pas

¹² Voir Rudolf Steiner : *Introductions aux écrits scientifiques de Goethe (GA 1)*, Dor, nach 1987, p.317.

¹³ À l'endroit cité précédemment, pp.273 et suiv., soulignement en caractères italiques dans l'original.

¹⁴ Hans-Peter Dürr : *Gott, Mensch und Wissenschaft [Dieu, être humain et science]*, conférence à Vienne du 10 novembre 1998, cité d'après : *Materie ist Kruste des Geistes [La matière est l'encroûtement de l'esprit]* dans *Der Standard* du 12 novembre 1998 — <https://antrowiki.at/Atom>

substantiellement identique à celui de l'instant précédent. Mais le monde dans l'instant passé préjuge les possibilités des mondes à venir de manière telle qu'avec une considération perdant certainement de sa finesse, tout ce passe comme s'il était constitué de particules préservant leur identité dans le temps sous certaines formes déterminées, par exemple, des particules élémentaires/atomes.¹⁵

Peut-on encore plus nettement exprimer le fait que la physique se heurte ici à la limite de la matière et de l'esprit ? — Rudolf Steiner disait dans cette conférence du 24 octobre 1907 :

Si nous allons derrière le son, derrière la lumière, ainsi nous ne trouvons pas d'atomes matériels qui s'immergent dans notre rétine, l'imprègnent et au moyen de cette imprégnation, produisent la représentation de la couleur et de la lumière. Lorsque nous regardons réellement là-dedans, qu'y découvrons-nous ? — De l'esprit ! Une couleur se comporte par rapport à l'esprit comme la glace par rapport à l'eau. Au lieu de ce monde fantastique d'atomes bourdonnant les uns dans les autres, le vrai penseur et investigateur de l'esprit trouve l'esprit, une réalité spirituelle derrière ce qu'il voit et entend de sorte que la question de la nature de la matière perd tout son sens. Car, comment répond-on à la question de la nature de la matière pour l'investigateur de l'esprit ? Qu'est-ce qui nous entoure, selon son essence, ce qui est là-dehors dans le monde et nous apparaît comme de la matière ? C'est l'esprit ! Et l'esprit nous connaît ! Nous devons rechercher son essence en nous-mêmes. Ce que nous sommes au plus intime de notre être, ce sont là toutes ces choses dehors dans le monde, seulement sous une autre forme.¹⁶

Autrement dit il y a une unité entre notre « essence la plus intime » et le monde des choses. Or cela c'est le concept du *Logos*, Tel qu'Il est conçu chez Héraclite.¹⁷ — Dans un entretien du 7 décembre 2012, Zeitlinger déclara au sujet du problème de l'interprétation du phénomène d'intrication des particules élémentaires :

Qu'est-ce que cela nous raconte sur le monde ? Une direction de l'évolution énonce, que le concept d'information est plus important que celui d'espace et de temps et une information est manifestement indépendante de l'espace et du temps. [...] Pour moi cela indique la direction que l'information est plus importante que tous les autres concepts. L'Évangile de Jean commence déjà par : « Au principe était le Verbe ». Cela aussi je puis le traduire par information.¹⁸

La naissance du monde matériel du Verbe, du *Logos* ! La majorité des physiciens est encore très emprisonnée dans la tradition matérialiste pour vouloir suivre de telles idées. Mais toute une série des grands pionniers de la physique quantique pensent dans cette direction. Je suis d'avis que nous sommes à la veille d'un bouleversement puissant dans notre compréhension du monde, comparable à celui de la Renaissance. À cette époque-là, l'esprit investigateur de l'être humain dut se libérer des dogmes de l'Église, aujourd'hui il s'agit de se libérer du dogme matérialiste : La naissance perpétuelle du monde matériel à partir du *Logos* — n'est-ce point là une idée libératoire ?

Die Drei 7-8/2020.

(Traduction Daniel Kmiecik)

Martin Wigand, diplômé en physique, né en 1951, a effectué trois ans de travail de recherche en physique atomique à l'université d'Heidelberg (Structure hyper-fine de l'hélium muonique), par la suite enseignant Waldorf à l'école de Mannheim de 1983 à 1991, ensuite il émigra en Afrique du Sud, activité d'enseignant sur place dans diverses écoles et chargé de cours dans la formation des enseignants Waldorf — Contact : mwigand58@gmail.com

¹⁵ Du même auteur *Geist und Natur [Esprit & nature]* Munich & Vienne 1989, p.38.

¹⁶ Rudolf Steiner : *La connaissance de l'âme et de l'esprit (GA 56)*

¹⁷ Voir Karl-Martin Dietz : *Heraklit von Ephesus [Héraclite d'Éphèse]*, Stuttgart 2004, pp.78 et suiv.

¹⁸ www.wieerzeitung.at/nachrichten/wissen/natur/506880-Das-Loch-im-Verstaendis-der-Welt.html