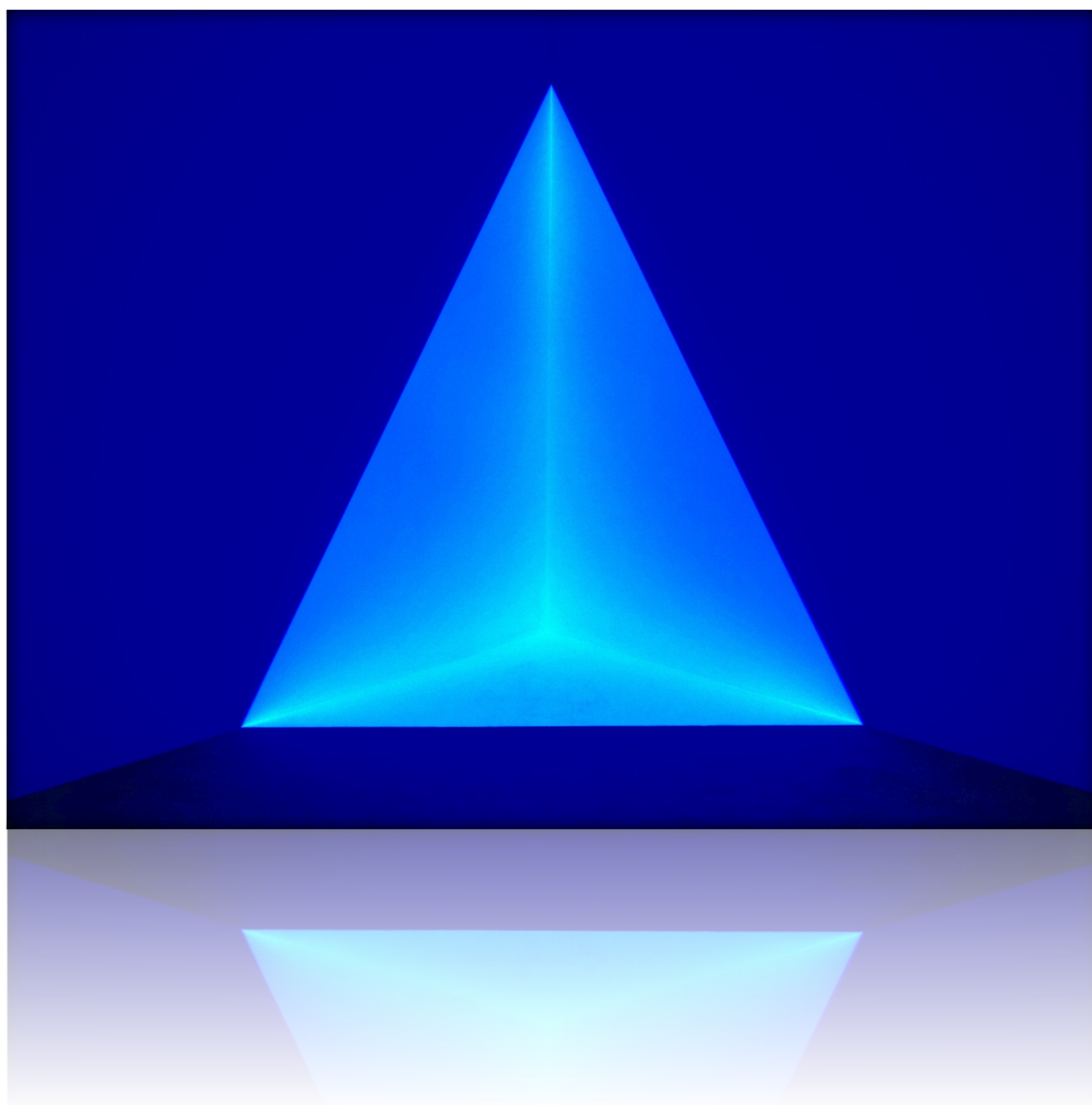


L'ART DE MONTRER L'INVISIBLE, L'AUTRE REVOLUTION QUANTIQUE

CHARLES ANTOINE



« Gard Blue » de James Turrell – 1968

Depuis la nuit des temps, l'humain tente de comprendre les mondes qui l'entourent. Le monde physique, palpable et sensible, mais également tous ces mondes invisibles qu'il devine, au loin ou au près, et qui échappent à ses sens, à son langage et à sa pensée. Des mondes oniriques, poétiques, mathématiques... qui posent la question de leur traductibilité et plus généralement de celle du langage. Et si la physique est restée pendant longtemps une science relativement populaire et accessible à tous via le langage commun, la révolution quantique du XX^{ème} siècle a fait voler en éclats non seulement toutes nos certitudes « classiques » sur l'univers, mais également notre espoir d'exprimer *fidèlement* cette science autrement que par le langage mathématique. Mais de nombreux artistes et scientifiques ne l'entendent pas de cette oreille et, au contraire, s'essaient à d'autres langages pour tenter de traduire l'indicible et rendre visibles ces subtils et mystérieux invisibles de la physique quantique.

I. Ces mondes invisibles qui questionnent le langage

L'invisible est partout autour de nous. Et sous de multiples formes. Trois, essentiellement : l'invisible parce que l'on ne peut pas le *voir*, l'invisible parce que l'on ne peut pas le *donner à voir*, et l'invisible parce que l'on ne peut pas le *concevoir*.

Le visible et ces trois formes d'invisible sont au cœur d'une démarche suivie par les humains depuis la nuit des temps : comprendre le monde qui les entoure. Comprendre ce qu'ils observent, autour d'eux et en eux. Comprendre ce qu'ils voient et ce qu'ils ne voient pas, ce qu'ils devinent ou imaginent. Comprendre ce à quoi ils ont accès et, au contraire, comprendre tous ces mondes invisibles qui échappent à leurs sens, à leur langage et à leur pensée.

Il y a tout d'abord le monde invisible des choses que l'on ne peut pas voir. Les choses qui n'émettent ou ne réfléchissent pas de lumière visible, les choses cachées par d'autres ou dans le noir, les choses qui ne sont pas suffisamment tangibles (l'air) ou perceptibles par d'autres sens (le son, le goût). Puis il y a l'invisible parce que trop loin (le cosmos) ou parce que trop petit (les atomes). Avec cette question lancinante : qu'y a-t-il dans l'en-deçà et dans l'au-delà de mon regard ?

Deux mondes invisibles que la science moderne tente de comprendre et décrire, tant dans leur structure que dans leur évolution. Le monde de l'infiniment grand du cosmos et celui de l'infiniment petit des atomes. Objets et sujets de nos deux théories phares de la physique moderne : la relativité générale et la physique quantique.

Attention, ce vocable d'infini est trompeur ! Car ces infinis n'en sont pas, ni au sens mathématique du terme, ni à son sens commun. Car ces deux mondes sont bien plus proches qu'ils n'en ont l'air. Ils commencent en fait là où notre regard s'arrête. Par exemple, la physique quantique s'avère non seulement pertinente mais *nécessaire* pour décrire correctement tout ce qui est « plus petit que la plus petite chose » que l'on peut distinguer à l'œil nu (plus petit, typiquement, que la plus petite poussière visible, c'est-à-dire de taille submicrométrique¹).

¹ Avec les meilleurs microscopes optiques (utilisant donc de la lumière visible), on peut distinguer des choses ayant une taille de l'ordre de la plus petite longueur d'onde du spectre visible, soit environ 0,4 micromètres (et même légèrement en dessous). C'est la limite ultime du « visible ». Avec d'autres types de microscopes (électroniques ou atomiques par exemple), on peut descendre bien plus bas, à l'échelle d'un atome unique (0,1 nanomètre), mais les images obtenues sont alors de fausses images. Un micromètre correspond à un millième de millimètre, un nanomètre à un millième de micromètre.



« Data verse » par Ryoshi Ikeda - 2020

À ces deux (quasi-)infinis, on peut en ajouter un troisième : l'infiniment complexe du vivant. Le monde de la biologie et de tous ces mondes invisibles qui se rapportent à l'essence des êtres vivants et en particulier à ceux doués de conscience : mondes des émotions et des sentiments, du psychisme et de l'inconscient, de l'au-delà et du spirituel, de la conscience et de l'imaginaire, du monde social et de la mémoire collective. Des mondes bien réels pour ceux qui les abritent, mais dont la subjectivité les rend invisibles à autrui. Des mondes qui ne se donnent pas à voir. Invisibles aux autres car échappant à toute transmission fidèle.

Et puis il y a les mondes dont l'invisibilité est par nature. En dehors de toute tentative de transmission en langage commun. Des mondes invisibles qui échappent à notre visualisation, à notre intuition, à notre logique. Ces mondes que les artistes et scientifiques connaissent si bien. Mondes de l'onirisme et de la créativité, de l'art, de la poésie et du symbole, monde de l'abstraction mathématique (espaces de Riemann, géométrie algébrique...), monde des forces et des flux d'énergie qui sous-tendent les phénomènes physiques et les interactions entre objets et systèmes, monde de la

physique théorique (interactions fondamentales, espace-temps, dimensions supplémentaires...).

Des « autres » mondes, abstraits et symboliques qui ont, depuis l'aube de l'humanité, attisé la curiosité d'hommes et de femmes poussés par une impérieuse envie de les comprendre. De mettre du sens non seulement sur ce qu'ils pouvaient voir, ressentir, détecter, mesurer, mais également sur tous ces invisibles qui les intriguaient autant qu'ils les aspiraient.

Concernant l'étude du monde physique, ces chercheurs de sens ont pris de multiples noms et apparences au cours des derniers siècles et millénaires. D'abord sous forme de chamanes, sorciers ou mages, puis sous le nom de sages, de philosophes et d'alchimistes. Pour petit à petit aboutir à la notion moderne de scientifique, avec toutes ses déclinaisons correspondant aux divers grands domaines de la science : chimie, biologie, physique, mathématiques, informatique, philosophie, sciences sociales...

Et, pour chacun de ses domaines, une explosion de subdivisions et de spécialisations extrêmes. Par exemple, rien que pour la physique², on peut citer la mécanique, l'optique, l'électricité, le magnétisme, la thermodynamique, la gravitation, l'astrophysique et la cosmologie, la structure atomique et la physique des milieux denses ou dilués, la physique nucléaire et celle des particules élémentaires. Un foisonnement de théories et d'écosystèmes intellectuels ayant chacun une logique et un langage bien particuliers, qui pourraient laisser croire à une dispersion des

² La physique est la branche des sciences qui étudie la matière (inerte, non vivante), ses constituants élémentaires, son mouvement dans l'espace-temps et son lien avec les concepts d'énergie et de force. On distingue généralement deux époques caractéristiques, tant pour la science que pour la physique. Le terme « science moderne » fait référence à la science telle qu'elle s'est développée à partir du XVII^{ème} siècle sous l'impulsion de Galilée, Newton, Descartes, Leibniz, Pascal, Boyle ou encore Bacon. Le terme « physique moderne » se réfère quant à lui à la physique qui est née au début du XX^{ème} siècle, avec la découverte de la relativité restreinte (1905) puis celle de la relativité générale (1907-1915), et avec le développement de la physique quantique (au cours des années 1920).

connaissances si ce foisonnement ne s'accompagnait pas de façon concomitante d'une intense et continuelle démarche d'unification des différentes théories mises à jour.

Du point de vue de la science moderne², cette recherche d'unification fut initiée par Newton qui comprit pourquoi la gravité pouvait expliquer deux phénomènes apparemment contradictoires : le fait que mon smartphone peut tomber par terre mais qu'au contraire la lune, elle, ne tombe pas. S'en suivirent diverses étapes d'unification.³ Le magnétisme, l'électricité et l'optique par Maxwell en 1865 (électromagnétisme), puis la mécanique, l'espace-temps et la gravitation par Einstein entre 1905 et 1915 (relativités restreinte et générale), puis la physique quantique et la relativité restreinte par Dirac, Pauli, Schwinger, Feynman et Dyson au cours des années 1920-50 (théorie quantique des champs), et depuis, toutes les tentatives d'unification, hélas pour l'instant restées infructueuses, des deux grands cadres conceptuels de la physique : la relativité générale et la physique quantique⁴.

Avec une recherche non seulement d'unité, mais également, pour de nombreux scientifiques, une recherche d'esthétisme, de symétrie et d'harmonie mathématique. Par exemple, Paul Dirac n'hésitait pas à affirmer⁵ : « Ce résultat est trop beau pour être faux ; il est plus important d'avoir de la beauté dans une équation que de la voir confirmée par les expériences ». Une vision extrême, qui aurait très certainement été tournée en ridicule si elle n'avait pas été prononcée par l'un des plus géniaux fondateurs de la physique quantique, dont l'équation éponyme,

³ Carlo Rovelli, *Sept brèves leçons de physique*, Odile Jacob, 2015 ; Alessandro Roussel, *Les Grandes Lois de l'Univers : De la gravitation aux particules quantiques*, Alisio, 2023.

⁴ Même s'ils sont couramment confondus, les termes « mécanique quantique » et « physique quantique » doivent en toute rigueur être distingués. La mécanique quantique est à la physique quantique ce que la mécanique classique est à la physique classique, c'est-à-dire « une » théorie parmi d'autres appartenant à un cadre conceptuel donné. Au sein du cadre conceptuel « physique quantique », on distingue la mécanique quantique (lorsque les principes quantiques sont appliqués au mouvement d'un objet), l'optique quantique, l'électrodynamique quantique, la chimie quantique, l'ingénierie quantique, l'informatique quantique...

⁵ P.A.M. Dirac, « The Evolution of the Physicist's Picture of Nature », *Scientific American*, Vol. 208, No. 5 (1963) pp. 45-53

construite uniquement à partir d'arguments de symétrie, su prédire rien moins que l'existence d'un univers matériel parallèle, celui de l'antimatière.



« Quantum Man » par Julian Voss-Andreae - 2006

Un extraordinaire dédoublement du monde. Aussi incroyable qu'imprévu, et pourtant bien réel. L'antimatière est couramment produite en laboratoire ou dans les accélérateurs de particules, sous forme d'antiparticules (positrons, antiprotons...) et même, depuis récemment, d'antiatomes. Et ce, même si son anti-présence, c'est-à-dire l'asymétrie matière-antimatière, reste l'un des plus intrigants problèmes ouverts de la physique (l'antimatière étant quasiment absente de façon naturelle dans l'univers alors que nos équations en prédisent une parfaite symétrie dans les proportions).

Cette question de la beauté mathématique de la physique repose essentiellement sur la simplicité des équations mises en jeu (rasoir d'Ockham), leur symétrie (au sens de la théorie mathématique des groupes), et leur

« naturalité » (minimum d'hypothèses nécessaires pour les formuler *versus* leur polyvalence et capacité d'explication). Trois critères auxquels obéit parfaitement la relativité générale d'Einstein mais qui, de façon surprenante, ne sont pas vraiment à l'œuvre en physique quantique, exceptée bien sûr l'équation de Dirac.

C'est que le monde quantique se révèle tout aussi étrange par ses prédictions que par sa(ses) formulation(s) mathématique(s). Et pas seulement à cause du nombre important de principes de base qu'il est nécessaire de postuler, mais également par la nature même de ces principes. Qui font appel à d'autres mondes. Des « ailleurs » mathématiques, abstraits et symboliques, qui n'ont absolument rien à voir avec notre monde physique à trois dimensions d'espace et une dimension temporelle⁶.

Avec l'avènement de la physique quantique, les scientifiques ont en effet eu besoin d'introduire de nouveaux mondes. Une multitude d'autres mondes. Avec des propriétés qui peuvent sembler extravagantes, tant par leur nature (complexe par exemple) que par leur nombre de dimensions (deux, quatre, dix, l'infini, l'infini continu...). Des espaces mathématiques totalement différents du nôtre, définis en chaque point de notre espace-temps. Comme un champ infini de bulles de bande dessinée. Une infinité de mondes-bulles dont la physique quantique ne peut pas faire l'économie et où vivent des êtres très loin de notre réalité (fonction d'onde, vecteur d'état, spineur, charges de saveur ou de couleur...).

Cette nécessité d'abstraction mathématique en physique quantique, via l'introduction d'une multiplicité d'objets et de mondes inaccessibles et invisibles par nature, entraîne alors naturellement la double question de la compréhension fine de cette description quantique de la réalité qui échappe à notre langage commun, et de

⁶ Marcelo Gleiser, « Our language is inadequate to describe quantum reality », Bigthink, 4 janvier 2023.

sa transmission aux autres, en particulier au public non spécialiste de ces domaines scientifiques fondés sur des mathématiques hautement non-intuitives⁷.

Avec cette impérieuse envie, de la part de nombreux scientifiques, de partager, de communiquer, de « passer » ces époustouflantes connaissances au plus grand nombre. De façonner et explorer d'autres langages pour atteindre le plus large public possible. De façon à leur transmettre l'essence, sinon l'essentiel, de ce qu'ils ont découvert et compris du monde et de tous ces mondes invisibles qui pavent le chemin de cette réalité qui semble se dérober à notre intuition. À l'instar des poètes et des artistes, les scientifiques se retrouvent confrontés au problème de transmettre l'invisible, d'incarner par la parole ou par le geste ce qu'ils n'entrevoient que dans leur pensée ou dans les formulations symboliques qu'ils manipulent.

D'une façon peut-être moins étonnante qu'il ne paraît, les artistes et scientifiques d'aujourd'hui en viennent à ressembler aux mages et aux chamanes de l'ancien temps qui tentaient de conter ce qu'ils percevaient d'autres mondes. Une ressemblance de forme qui questionne tant le langage que la nécessité de développer et d'encourager toutes les formes de bilinguisme entre arts et sciences formelles.

⁷ Alan Ford and F. David Peat, « The Role of Language in Science », *Foundations of Physics*, Vol. 18 (1988) p1233



« Quantum Cloud » par Antony Gormley - 2000

II. Une double révolution quantique

Si la physique quantique est à la fois une théorie scientifique et un cadre conceptuel sur lequel s'appuient de nombreuses autres théories⁸, elle est également indissociable à la fois d'une double révolution technologique et d'un véritable changement de paradigme sur notre façon de voir le monde⁹.

Le mot quantique vient du latin « quantum » (au pluriel, « quanta ») qui signifie étymologiquement « combien », même si son sens actuel est « petit grain », sous-entendu « petit grain d'énergie » si rien n'est précisé sur la nature de ce grain. Cette connotation énergétique fait référence au fait qu'on a pu démontrer expérimentalement que tant la lumière que la matière étaient quantifiées en énergie, c'est-à-dire qu'elles possédaient une structure énergétique discrète, granulaire (sous forme de photons pour la lumière et d'un code-barres énergétique caractéristique pour chaque type d'atome). Et certains scientifiques pensent même que l'espace et le temps pourraient être également eux-aussi quantifiés, et qu'ils auraient donc, à la plus petite échelle imaginable, une structure granulaire, sous forme de petits grains d'espace et de petits grains de temps.

Mais ce serait un leurre de penser que la physique quantique est restreinte au monde invisible de l'infiniment petit. Elle est en effet présente dans quasiment chaque geste de notre quotidien. Par exemple lorsque nous pianotons sur nos ordinateurs ou nous smartphones, lorsque nous utilisons un GPS ou un laser, ou que nous allons passer une IRM. Presque tout autour de nous vient en effet de notre compréhension

⁸ Mathieu Burniat et Thibault Damour, *Le Mystère du monde quantique*, Dargaud, 2016 ; Laurent Schafer, *Quantix : Comment la physique quantique et la relativité façonnent notre réalité*, Dunod, 2021.

⁹ Tim James, *Magique Quantique*, Dunod, 2020 ; Carlo Rovelli, *Helgoland : Le sens de la mécanique quantique*, Flammarion, 2021 ; Bernard d'Espagnat, *À la recherche du réel – Présenté par Etienne Klein*, Dunod, 2021 ; Charles Antoine, *Schrödinger à la plage*, Dunod, 2022 ; Michel Bitbol, *Philosophie quantique : Le monde est-il extérieur ?*, Mimesis, 2023.

fine de la matière et de la lumière, et tout cela grâce à la physique quantique et à ses innombrables applications depuis la première révolution technologique qui a suivi sa découverte il y a exactement cent ans.

Et si la physique quantique est omniprésente aujourd'hui dans notre quotidien, elle le sera encore plus demain ! Car depuis une vingtaine d'années, nous sommes tous embarqués dans une nouvelle révolution quantique. Une « deuxième » révolution quantique¹⁰ à grands coups de téléportation, de cryptographie, de capteur et d'ordinateur quantiques. Dont les enjeux géostratégiques et économiques sont comparables pour beaucoup à ceux de la maîtrise de l'énergie nucléaire dans les années 1940-50.

Une nouvelle révolution quantique qui donne à la problématique du langage et de la transmission une autre tonalité, plus citoyenne et engagée. D'autant plus à l'aune des investissements colossaux réalisés par les grandes entreprises et les pays du G20. Dans cette nouvelle ère de l'information quantique, comprendre et transmettre la physique quantique au plus grand nombre n'est donc plus un luxe réservé à une élite, c'est une nécessité.

¹⁰ Ce qui distingue fondamentalement la première révolution quantique de la deuxième est la maîtrise d'effets quantiques individuels. Si la première révolution technologique quantique s'est en effet appuyée sur des effets quantiques collectifs (effet tunnel, effet laser, supraconduction) concernant des milliards de milliards (de milliards) de particules individuelles, la deuxième révolution quantique se fonde, elle, sur la possibilité de générer, piéger et manipuler de façon contrôlée des particules uniques (électrons, photons, atomes ou molécules). La maîtrise expérimentale du phénomène d'intrication est également caractéristique de cette deuxième révolution quantique.



« À contre-courant » par Paul Kichilov - 2015

Deux questions surviennent alors au sujet de cette transmission. Qui a-t-il à transmettre de cette physique quantique ? Et pourquoi dit-on que la physique quantique a révolutionné notre façon de voir et penser le monde ?

La première question est technique et se subdivise en deux parties : (i) les « faits » quantiques, c'est-à-dire les faits expérimentaux qui sont inexplicables dans le cadre de la physique classique ; et (ii) les concepts quantiques, c'est-à-dire ceux auxquels fait appel la physique quantique pour tenter d'expliquer ou de décrire les faits expérimentaux non-classiques. Parmi les faits quantiques les plus caractéristiques, Feynman avait coutume de dire que le plus important est sans doute celui qui, paradoxalement, nous semble le plus intuitif et naturel aujourd'hui, mais qui a demandé des millénaires pour être pleinement accepté : l'existence de grains de matière insécables, autrement dit des atomes (et plus généralement de toutes les

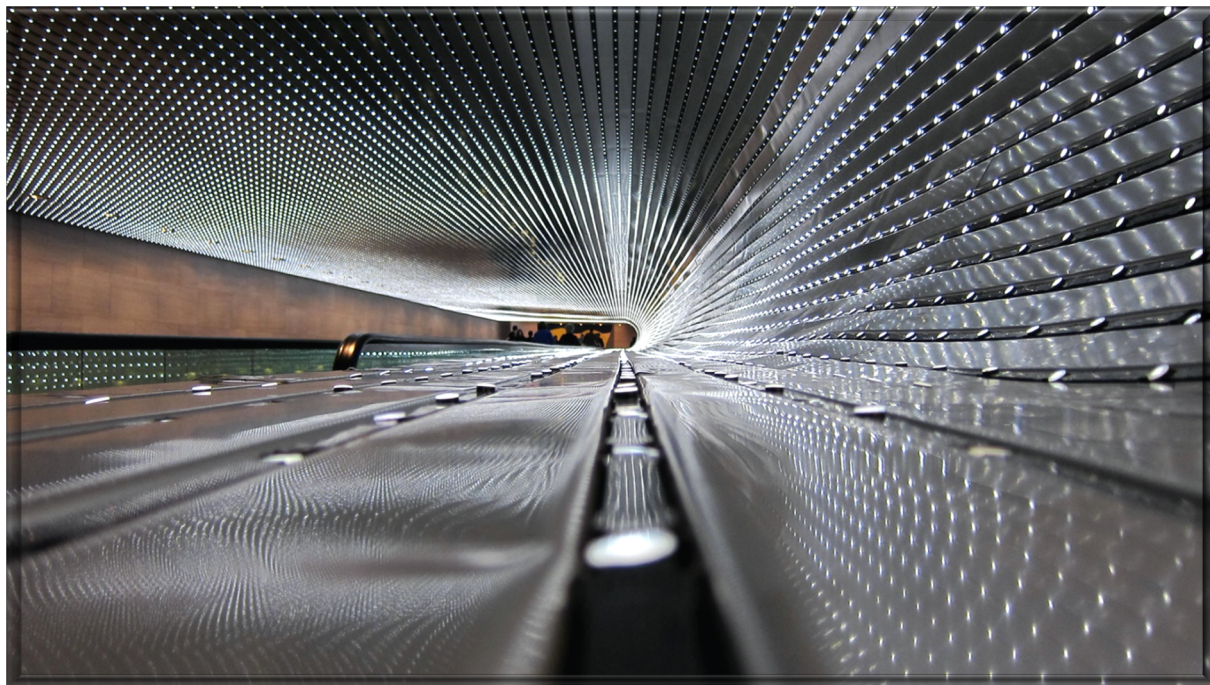
particules qu'on ne peut pas couper en des demi-particules¹¹). L'autre fait quantique majeur est celui qui a donné son nom à la théorie : la quantification non seulement des échanges d'énergie entre lumière et matière, mais également de l'énergie elle-même, que ce soit pour la lumière ou pour la matière.

Un autre fait quantique emblématique a trait à ce qu'on appelle la dualité onde-corpuscule pour la matière, c'est-à-dire le fait que des grains de matière (électrons, neutrons, atomes, molécules) peuvent présenter un aspect ondulatoire sous certaines conditions expérimentales. Comme diffracter à travers un trou ou une fente, ou donner naissance à une figure d'interférences lorsqu'au moins deux chemins distincts sont disponibles pour atteindre un même détecteur. Ou encore pouvoir traverser partiellement un mur comme peuvent le faire les autres types d'onde, comme les ondes sonores¹². Un phénomène appelé « effet tunnel ».

Ce phénomène de passe-muraille est d'ailleurs sans aucun doute l'effet quantique ayant eu le plus d'impact sur nos vies depuis cent ans. C'est lui par exemple qui est à l'origine du fonctionnement des diodes et des transistors, ces composants principaux de l'électronique et par conséquent de toute l'informatique qui nous environne. Mais l'effet tunnel est aussi la clef pour comprendre l'énergie nucléaire, c'est-à-dire comment les noyaux atomiques se brisent ou s'agrègent en libérant de l'énergie, de façon naturelle ou artificielle.

¹¹ On peut « casser » un atome pour en extraire ses sous-constituants (électrons, protons, neutrons...), mais on ne peut découper un atome en deux demi-atomes. Il en est de même pour les particules élémentaires, excepté le photon.

¹² On sait également aujourd'hui réaliser avec les ondes de matière tous les dispositifs connus pour les autres types d'ondes : holographie, miroir, réseau...



« Multiverse » par Leo Villareal – 2010

En dehors de ces faits quantiques qui ont révolutionné le monde technologique du XX^{ème} siècle, il en existe deux autres, aussi subtils que lourds de conséquences sur notre vision de la réalité et qui sont au cœur de la deuxième révolution quantique en cours. Le premier est l'existence d'un « vrai » aléatoire lors de certaines mesures (comme la mesure du passage d'un photon unique à travers une lame semi-réfléchissante par exemple). Un hasard non-classique, ne résultant pas d'une méconnaissance des conditions expérimentales. Un hasard différent du pseudo-hasard classique que l'on peut rencontrer dans notre monde quotidien¹³. Un hasard quantique irréductible et intrinsèque, résultant de l'interaction entre l'appareil de mesure et l'objet sur lequel on effectue la mesure. Un hasard pur, qui non seulement n'a aucune explication classique, mais qui, dans le cadre de la physique quantique, continue de soulever d'insondables questionnement sur l'origine quasi-

¹³ Les phénomènes qui nous semblent aléatoires autour de nous relèvent pour la plupart d'un pseudo-hasard. Par exemple, pour une expérience de pile ou face, un lancé de dés ou la sortie d'une boule de loterie, il suffit en pratique de connaître « tous » les détails de l'expérience (positions et vitesses de chaque molécules et atomes de l'air et des objets considérés) pour pouvoir prévoir avec certitude le résultat final. A contrario, dans certaines expériences de physique quantique, l'aléatoire des résultats finaux possibles est intrinsèque et ne peut être réduit ou éliminé par une quelconque connaissance absolue des détails expérimentaux.

divine de ce pur aléatoire et sur l'indétermination intrinsèque qui en résulte sur certaines grandeurs physiques mesurables.

L'autre fait quantique majeur de la deuxième révolution quantique actuelle est le phénomène d'intrication quantique.¹⁴ Le fait que deux particules puissent, dans certaines conditions très précises, partager une propriété physique qui ne peut pas être réduite aux propriétés individuelles de chacune des deux particules prises indépendamment l'une de l'autre, et ce, quelle que soit la distance physique entre les deux particules intriquées¹⁵. Une mesure de cette propriété « partagée » sur l'une des deux particules entraîne en effet une modification instantanée de la propriété physique de l'autre particule, sans qu'il y ait eu la moindre interaction physique avec cette dernière. On parle de corrélation parfaite des résultats de mesure¹⁶, condamnant en retour l'hypothèse si intuitive de localité des interactions physiques.

Il existe en fait une multitude d'autres faits expérimentaux qui ne trouvent aucune justification en dehors du cadre de la physique quantique : l'existence de moments cinétiques demi-entiers (spin 1/2) par exemple, ou les phénomènes de supraconductivité et de superfluidité, divers effets topologiques ou encore l'effet mesurable du vide quantique.

Tous ces faits quantiques sont à distinguer clairement des concepts et calculs que propose la physique quantique pour les expliquer ou les prédire. On devrait d'ailleurs être beaucoup plus prudents dans nos diverses appellations quantiques, qui laissent à penser que la nature est quantique, alors que l'on devrait adopter une

¹⁴ Anton Zeilinger, *Le Bal des photons : D'Einstein à la téléportation quantique, les mystères de l'intrication*, Flammarion, 2023.

¹⁵ On peut également intriquer deux propriétés distinctes pour une même particule, et on sait aujourd'hui intriquer non seulement d'énormes paquets de particules, mais aussi des objets entiers de taille macroscopique (bien que très petits, par exemple de la taille de l'épaisseur d'un cheveu).

¹⁶ Attention, même si ce phénomène d'intrication semble violer à première vue le principe de causalité d'Einstein (qui affirme qu'aucune information ne peut se déplacer plus rapidement que la lumière dans l'espace-temps), le pur aléatoire des résultats de mesure fait que l'on ne peut pas transférer une information de façon instantanée via cette corrélation non-locale.

position plus mesurée et humble en affirmant simplement que la physique quantique est « un » cadre de pensée qui permet de rendre efficacement compte de ces faits inexplicables par la physique classique.

Si la plupart des faits quantiques précédents semblent étonnants, les concepts et outils développés par les physiciens quantiques depuis une centaine d'années pour les décrire sont peut-être encore plus contre-intuitifs et désarçonnants. Ce sont d'ailleurs souvent eux, plus que les faits quantiques en eux-mêmes, qui suscitent et véhiculent cette image d'étrangeté quasi mystique de la physique quantique, source infinie d'inspirations créatrices mais également d'abus de langage plus ou moins volontaires.

Et c'est là que la multiplicité des mondes quantiques apparaît. Car à presque chaque fait quantique listé ci-dessus, la physique quantique associe un nouveau monde. Un espace mathématique abstrait. Un ailleurs inaccessible et non visualisable. Le monde complexe et infini des « fonctions d'onde » ou « vecteurs d'onde » pour rendre compte des aspects ondulatoires de la matière. La somme et le produit de ces mondes pour rendre compte de l'intrication. L'attribution de grandeurs abstraites aux particules (spin, saveur, couleur...) qui conduit à l'existence d'autres mondes mathématiques encore plus abstraits et symboliques. Le recours à des éléments de symétrie dans ces espaces abstraits pour « redéfinir » la notion même de particule élémentaire (comme représentation irréductible d'un groupe de symétrie). Sans compter l'hypothèse (dans certaines extensions de la physique quantique) de la présence de dimensions cachées, repliées ou enroulées sur elles-mêmes, de notre monde physique environnant.



Extrait du spectacle « Vertical Road » d'Akram Khan – 2010

Mais ce n'est pas fini, car il y a également dans tous ces mondes mathématiques l'existence d'opérations classiquement impossibles (liées au spin et aux relations d'indétermination de Heisenberg) qui amènent à remettre en question notre accès « objectif » à l'univers et qui, même, condamnent tout espoir d'avoir accès à une réalité, idéale et platonicienne, indépendante de nos appareils de mesure. Un réel à jamais voilé, pour reprendre les mots de Bernard d'Espagnat¹⁷.

Un réel, ou plutôt ce qu'il en reste, et qui finit d'être totalement déconstruit par l'interprétation aujourd'hui dominante parmi la communauté des physiciens quantiques : l'« interprétation des mondes multiples ». Une interprétation du formalisme quantique en lien avec l'aléatoire intrinsèque qui surgit à chaque mesure. L'hypothèse, a priori fantastique voire fantasque, de la création explosive et

¹⁷ Bernard d'Espagnat, « Le réel voilé : analyse des concepts quantiques », Fayard 1994.

continuelle d'une infinité de mondes parallèles pour tenter d'écarter l'option d'une divine influence sur l'origine de ce pur aléatoire expérimentalement constaté.

III. Une révolution quantique peut en cacher une autre

La physique quantique a littéralement réinventé notre monde. Faisant voler en éclats toutes nos certitudes classiques. Sur la nature de la matière et de la lumière, sur celle de l'espace et du temps, sur la notion d'observation et de mesure, sur la nature propre des choses et leur identité, sur notre accès au monde et sur l'essence, inaccessible par nature, de ce que l'on ose encore appeler réalité. Une révolution profonde et totale de notre façon d'envisager l'autre qu'est l'univers. Un changement de paradigme radical dans la pensée scientifique.

Il est d'ailleurs passionnant, et inspirant, de constater que la première moitié du XX^{ème} siècle fut le théâtre de multiples révolutions culturelles, artistiques et intellectuelles en complète résonance avec les révolutions quantique et relativiste.¹⁸ Même si corrélation ne signifie pas causalité, on ne peut être que stupéfait de la proximité des avancées concomitantes dans le domaine des arts, des techniques et des sciences. Par exemple, l'apparition du pointillisme lorsque les scientifiques discutaient quantification et grains de matière-lumière. Le cubisme, le dadaïsme, le futurisme et la musique atonale lorsque les physiciens cassaient les atomes et parlaient des sauts quantiques. La naissance de l'art abstrait au moment même où surgissaient les premiers mondes mathématiques abstraits de la physique quantique (avec Pauli et le spin en 1924). Le surréalisme et le dodécaphonisme lorsque Schrödinger, Heisenberg, Bohr et Born développaient leur description quantique du monde sous forme duale en termes de fonctions d'ondes et de matrices infinies.¹⁹

¹⁸ Paulo Nuno Martins, « L'intersection entre la science et l'art au XX^{ème} siècle : A la recherche de la « beauté philosophique », *Plastir*, No 23, 2011.

¹⁹ Manjit Kumar, *Le grand roman de la physique quantique : Einstein, Bohr... et le débat sur la nature de la réalité*, Flammarion, 2012.

Et ces résonances ne concernent pas uniquement les arts visuels ou scéniques. Ce sont tous les domaines de la culture, de la politique et des sciences sociales qui sont touchés : la peinture et la sculpture, l'architecture et le design, la littérature et le cinéma, le théâtre et la musique, la photographie et la danse, la psychologie et la philosophie du langage... Le cercle de Vienne, Picasso, Duchamp et Stravinski, Schoenberg, Mondrian et Breton, Malevitch, Dali et Wittgenstein. Tous les intellectuels et artistes de première moitié du XX^{ème} siècle se sont inspirés et nourris de l'effervescence scientifique et politique dans laquelle tous baignaient.

Une influence mutuelle qui ne s'est jamais tarie depuis lors, même si elle a eu tendance à être dirigée préférentiellement des sciences vers les arts, les artistes venant s'abreuver aux merveilles et mystères de la physique moderne, mais avec extrêmement peu de scientifiques osant s'aventurer « activement » sur le terrain des arts et de la philosophie.

Mais depuis quelques décennies, dans une sorte de nouvelle résonance avec la deuxième révolution quantique en cours, on observe un double mouvement spectaculaire : une amplification des explorations artistiques de ce que la science moderne (et en particulier la physique quantique) peut dire, sous-entendre et signifier sur l'univers ; et en parallèle le développement notable, et de plus en plus intense, d'un intérêt actif et participatif pour les arts de certains scientifiques. Une démarche inverse très riche et fructueuse, amplifiée par les arts numériques et par tous les moyens de communication et de calcul modernes, ordinateurs quantiques et intelligence artificielle comprises.

Une démarche à l'initiative d'artistes passionnés par les sciences ou venant directement du désir de certains scientifiques, ingénieurs ou techniciens de collaborer avec des artistes. Avec comme triple objectif non seulement de leur partager leurs

connaissances et faire en sorte que les artistes les aident à les transmettre au plus grand nombre, mais également avec l'espoir de mieux comprendre cette science qu'ils manipulent au quotidien mais dont ils n'arrivent pas à saisir toutes les subtilités. Une aspiration à l'intelligibilité et à la visualisation, même partielle et subjective, de tous ces mondes symboliques et abstraits qui peuplent leurs théories scientifiques. Une recherche de langages « autres » pour tenter de donner tort à Feynman et enfin comprendre, au sens étymologique du terme, tous ces mondes « autres » de la physique quantique²⁰.

Par exemple l'américano-allemand Julian Voss-Andreae, physicien quantique et sculpteur, qui réalise à l'aide de centaines de lamelles de métal parallèles des sculptures saisissantes qui disparaissent selon l'angle de vue (« Quantum Man » ou « Elective Affinities »), afin de questionner l'existence en soi des choses et de montrer comment des comportements contradictoires peuvent exister simultanément²¹. L'anglais Antony Gormley qui crée de gigantesques sculptures (« Quantum Cloud ») à partir de morceaux de métal assemblés aléatoirement autour d'une forme centrale, illustrant la notion de nuage de probabilité de présence des électrons dans un atome. L'anglaise Cornelia Parker et son œuvre « Cold Dark Matter » qui vient questionner notre perception de l'écoulement du temps en reconstituant dans l'espace l'explosion d'une cabane en bois à partir de ses débris collectés, comme un véritable « arrêt sur image » de l'explosion. Ou bien la brésilienne Janaina Mello Landini et ses installations de cordes tressées « Ciclotrama » qui évoquent des images de collisions de particules, ou encore la japonaise Chiharu Shiota et ses installations de fils à 3D (comme « The Key in the Hand ») qui questionnent également notre vision du monde « figée » dans l'espace.

²⁰ Robert P. Crease and Alfred S. Goldhaber, « Art of the Quantum Moment », The Bridges Archives, 2012.

²¹ Julian Voss-Andreae and George Weissmann, « Finally fresh air: Towards a quantum paradigm for artists and other observers », dans « On Art in Science », Springer 2019, pp. 157-179.

Mais aussi le mexicain Rafael Lozano-Hemmer et son installation lumineuse interactive « Pulse Room » qui capte la pulsation cardiaque des visiteurs pour moduler en retour l'intensité lumineuse, permettant aux spectateurs d'explorer de façon sensitive la relation entre l'observateur et l'objet observé. De même, l'allemande Karolina Sobocka avec son miroir interactif « All the Universe is full of the lives of perfect creatures » où un hologramme de créature animale surgit et joue avec le reflet du spectateur, soulignant l'illusion de croire qu'il existe une frontière bien nette entre soi-même et le monde extérieur. Également le plasticien britannique Anish Kapoor et son emblématique sculpture « Cloud Gate » à Chicago qui confronte les spectateurs à une perception altérée de leur propre image et de leur environnement, évoquant les aspects non-déterministes de la physique quantique. Anish Kapoor a d'ailleurs également acquis les droits du matériau quantique ultra-noir Vantablack afin de poursuivre d'une nouvelle manière l'exploration de l'œuvre au noir entreprise par le français Pierre Soulages.

La japonaise Yayoi Kusama et ses « Infinity Mirror Rooms » qui donnent l'impression de vertige et d'infini, évoquant l'idée de superposition quantique. Tout comme les œuvres réalisées à partir de gobelets en polystyrène de l'américaine Tara Donovan, ou celles de la plasticienne germano-polonaise Alicja Kwade et ses « Quantum fruits » qui invitent les spectateurs à réfléchir à la nature de la réalité. Ou encore les collages surréalistes de l'américain Fred Tomaselli qui cherchent à faire perdre au spectateur toutes ses certitudes.



« Infinity Mirrored Room » par Yayoi Kusama - 2017

Et puis tous ces sculpteurs de lumière qui questionnent l'acte de voir en jouant sur la perception de la lumière, les illusions d'optique et leurs aspects probabilistes : l'islando-danois Olafur Eliasson et son « Unspeakable openness of things », l'argentin Julio Le Parc (« Light and movement ») et le vénézuélien Jesús-Rafael Soto (« Doble progresion azul y negra ») avec leur art cinétique, ou encore l'américain James Turrell et ses œuvres de lumière tactile (« The Light Inside ») qui ne sont pas sans rappeler les français Dimitri Mallet (« Silence Painting ») et Eric Michel (« Fluo Horizon ») dont le travail est actuellement exposé au CNAP à Paris²².

²² Exposition « Les formes du temps » du 3 février au 4 avril 2024 au CNAP – Topographie de l'art, 15 rue de Thorigny à Paris.

Beaucoup d'artistes s'emparent également des nouvelles technologies pour explorer les liens art-science, en particulier ceux ayant trait à la physique quantique. Performances autour de l'informatique quantique du japonais Ryoji Ikeda (« Superposition » et « Data-verse »), NFT d'art génératif de l'américain Kevin McCoy (« Quantum »), NFT des installations lumineuses de l'américain Leo Villareal (« Cosmic Bloom »), NFT du japonais Mariko Mori sur la visualisation des dimensions quantiques cachées (« Eternal Mass »), art informatique de l'américain Casey Reas (« Software structures »), art vidéo du japonais Hiraki Sawa (« Dwelling ») ... Auxquels s'ajoutent les photographies de l'anglaise Bridget Smith (« Quantum Field ») et du français Frédéric Bourret (« Le train de Schrödinger »), les bâtiments du designer canadien Frank Gehry, les cartographies abstraites de la plasticienne américaine Julie Mehretu (« Conversion »), les installations sonores du musicien allemand Carsten Nicolai (« tele »), les sculptures paysagères de l'américaine Maya Lin (« Wave field »), etc.

Dans les domaines de la musique et de la danse, c'est une multitude d'artistes qui a pris la relève de John Cage et Merce Cunningham, de Karlheinz Stockhausen, Steve Reich et Philip Glass, de La Monte Young et Terry Riley, de Xenakis et Pierre Boulez... Tant dans leurs explorations de la densité du vide, des discontinuités de l'espace et du temps, que de l'aspect contextuel et de l'influence du hasard dans les compositions et représentations. On peut citer le musicien anglais Brian Eno, passionné par la physique quantique, et qui tente de suggérer dans ses morceaux une superposition de niveaux d'écoute, en même temps que sa réduction aléatoire à l'un ou l'autre de ces niveaux. Un thème qu'explorent également la compositrice américaine Meredith Monk et la chanteuse française Camille.

Du côté de la danse, ce sont les ballets « Atomos » et « Multiverse » du chorégraphe Wayne McGregor, celui de la compagnie Sasha Waltz & Guests à partir de l'oeuvre « In C » de Terry Riley, les gracieuses chorégraphies d'Akram Khan (« Vertical

Road ») ou de Trisha Brown (« Set and Reset ») dans lesquelles les danseurs évoluent dans un environnement où les repères spatiaux sont incertains et constamment redéfinis, et à l'inverse les hyper-précis pas de deux de Merritt Moore, la « ballerine quantique », avec son bras robotisé.

Au théâtre, c'est par exemple Tom Stoppard (« Arcadia ») et Michael Frayn (« Copenhagen ») qui poursuivent la démarche initiée par Samuel Beckett en explorant l'ambiguïté du langage et l'indétermination du réel, comme pour l'histoire de la rencontre entre Niels Bohr et Werner Heisenberg à Copenhague en 1941. Également Eric Chantelauze et Samuel Sené qui, dans la comédie musicale « L'homme de Schrödinger », font l'expérience d'une intrication quantique entre deux amoureux, ou encore Charles Antoine et Paul Kichilov qui racontent dans « equiQuanto » la physique quantique sous forme d'un spectacle équestre dessiné en direct.

Le hasard quantique, les mondes parallèles et la notion de superposition dans l'espace-temps sont aussi une source renouvelée de créativité dans les domaines de la littérature (Jorge Luis Borges, Italo Calvino, Octavio Paz, Philip K. Dick, Haruki Murakami, Julio Cortázar, David Mitchell, Liu Cixin, Derek Künsken...), de la bande dessinée (Jim Ottaviani, Leland Myrick, l'équipe de Noumène, Andreas, Marc-Antoine Mathieu, Moebius, Alejandro Jodorowsky...), des films d'animation (« Waking life » de Richard Linklater, « Mind game » de Masaaki Yuasa, « Ghost in the shell » de Mamoru Oshii...), et bien sûr du cinéma (« Coherence » de James Ward Byrkit, « Primer » de Shane Carruth, « Mr Nobody » de Jaco Van Dormael, « The fountain » de Darren Aronofsky, « Inception » de Christopher Nolan, « Matrix » et « Cloud Atlas » des Wachowski...).

IV. Pour un multilinguisme éclairé

Depuis la prise de conscience collective de « l'abîme d'incompréhension mutuelle » qui existe entre les « deux cultures » suite à la célèbre conférence de Charles Percy Snow en 1959, les mondes artistico-culturels et scientifiques n'ont jamais été aussi proches qu'aujourd'hui.²³ Non pas que tous les scientifiques se passionnent pour les arts, la littérature ou la philosophie, ni que tous les artistes, penseurs et écrivains tentent de saisir précisément de quoi retourne la science moderne... mais le mouvement de rapprochement est à la fois intense et d'une grande diversité, et, surtout, il semble être mû par un désir de comprendre réellement ce que font les artisans de l'autre rive.

Une compréhension et une transmission pourtant hautement incertaines et difficiles, et ce pour de multiples raisons. Pour la transmission des sciences, et en particulier pour celle de la physique quantique, il y a tout d'abord les inévitables biais cognitifs, qui entachent et entravent - le plus souvent sans qu'on en ait conscience - la transmission des faits et concepts quantiques.²⁴ Des biais qui agissent chez tous les acteurs : tant chez les néophytes que chez les experts. Biais de simplification excessive (qui font perdre la complexité et la précision des concepts), effet de halo (liés aux préjugés sur la compréhension familière de certains phénomènes quantiques très médiatisés), anthropomorphisme (exacerbé dû aux appellations imagées de la physique quantique), biais de disponibilité (en surévaluant les concepts et expériences les plus médiatiques, comme l'expérience de la double fente ou le phénomène d'intrication), effet d'ancrage (en voulant rapprocher le plus possible de son intuition les étranges phénomènes quantiques), mais aussi biais d'expertise (qui

²³ Charles Percy Snow, *Les Deux cultures*, Les Belles Lettres, 2021.

²⁴ Daniel Kahneman, *Système 1, système 2 : Les deux vitesses de la pensée*, Flammarion, 2016 ; Albert Moukheiber, *Votre cerveau vous joue des tours*, Allary, 2019 ; Mehdi Khamassi, *Neurosciences cognitives*, De Boeck Supérieur, 2021.

laisse supposer que les experts en physique quantique ont nécessairement une compréhension complète et objective des concepts quantiques), etc.



« In Silence » par Chiharu Shiota – 2008

Des biais qui expliquent en partie l'utilisation abusive de nombreux termes techniques du formalisme de la physique quantique : ondes, vibrations, énergie, superposition, intrication, connexion instantanée, non localité, particules virtuelles... Des abus de diverses natures n'ayant pas tous la même origine ni la même finalité. Il est d'ailleurs crucial de faire la nuance entre ceux qui ont la volonté de nuire et d'escroquer le grand public, et ceux qui utilisent maladroitement et de façon inappropriée certains termes qu'ils trouvent inspirants. Un sujet pour lequel tant les experts que les journalistes et passeurs de science ont une très grande responsabilité.

Il faut dire que le vocabulaire de la physique quantique constitue à lui seul un écueil très sérieux. Il est en effet non seulement très imagé, mais surtout truffé de mots-valises à la signification imprécise, parfois même pour les physiciens eux-mêmes. Il n'est en effet pas rare que deux scientifiques d'une même discipline n'aient pas la même définition pour un même terme technique. Et ce n'est hélas pas restreint au vocabulaire de la physique quantique, que l'on pense au concept d'entropie par exemple, à celui de l'énergie ou à la définition d'une particule élémentaire²⁵.

De même, il arrive fréquemment qu'au sein d'un même langage mathématique, c'est-à-dire avec les mêmes symboles et termes utilisés dans les mêmes équations, la signification de ces équations ne soit pas du tout perçue et interprétée de la même façon. Une pluralité inhérente à la multitude de sous-domaines et spécialités scientifiques dans lesquels les professionnels n'ont pas la même formation, ni les mêmes pratiques, intérêts et objectifs.

²⁵ La définition d'une particule élémentaire dépend fortement du contexte culturel et du domaine dans lequel travaille chaque scientifique. Clic ou trace dans un détecteur, grain élémentaire de matière ou d'énergie, brique de base du Modèle Standard, excitation d'un champ quantique ou d'une supercorde, représentation irréductible d'un groupe de symétrie, pure abstraction... On pourrait même aller jusqu'à affirmer : « Dis-moi quelle est ta définition d'une particule élémentaire, et je te dirai dans quelle branche de la science tu travailles ! ».

Dans le cadre de la physique quantique, on retrouve également cette pluralité dans les diverses « interprétations » de ce que cette science signifie réellement, tant pour les faits quantiques expérimentaux que pour le formalisme mathématique utilisé. La physique quantique a en effet non seulement été une révolution conceptuelle dans les sciences (en montrant en particulier qu'il était nécessaire, pour comprendre notre monde, d'introduire une multitude d'autres mondes mathématiques abstraits), mais elle a ce-faisant mis au premier plan la question de l'interprétation philosophique et métaphysique de cette nouvelle science si désarçonnante. Donnant lieu, en pratique, à une immense variété (plusieurs dizaines) d'interprétations concurrentes, et parfois contradictoires, d'une même réalité expérimentale et d'un même formalisme mathématique²⁶.

Une pluralité de points de vue qui est souvent perçue comme une faiblesse de la théorie, mais qui, peut-être, se révélera un jour au contraire l'une de ses forces. Comme le suggérait Niels Bohr, lorsqu'il évoquait son principe de complémentarité, il se pourrait en effet que la multiplicité ne soit pas le problème, mais la solution. Que cette pluralité et cette polysémie quantiques ne soient pas un obstacle, mais au contraire la clef pour (mieux) comprendre cette science.²⁷

Et c'est là que le langage artistique - et plus généralement le fait de voir, penser et créer différemment – peut jouer un rôle essentiel. À la manière du Kintsugi, cet art japonais où l'on répare et embellit les fêlures, il se pourrait que le fait d'être différent, de parler un autre langage et d'avoir des fêlures en soi puisse laisser entrer un peu de lumière dans ces mondes obscurs et ineffables²⁸.

²⁶ Adan Cabello, « Interpretations of Quantum Theory: A Map of Madness » (dans « What is quantum information ? », Cambridge University Press, 2017).

²⁷ Luciano Boi, « Au bord de l'indicible : Le réel multiple, la diversité des langages et notre relation au monde », *Plastir*, No 36, 03/2014.

²⁸ Nicolas Martin, « La naissance du savoir », *Les Arènes* 2023 ; ; Edwige Armand et Anne Asensio, « Une manifestation art-science-industrie : Les plateaux Créatifs », *Plastir*, No 64, 03/2022 ; Primo Levi et Tullio Regge, *Dialogue*, Les Belles Lettres, 2023.

Mais pour que ce programme porte ses fruits, il est nécessaire de pallier l'écueil peut-être le plus important de la compréhension de la science moderne : le manque de maîtrise des rudiments de la langue de l'autre. Pour que les liens art-science gagnent non seulement en légitimité, mais qu'ils permettent également de réelles avancées scientifiques et une transmission de qualité, il est en effet nécessaire que les acteurs concernés aient une formation minimale solide dans les deux cultures. Pour les artistes, les journalistes et les philosophes (et toute personne non spécialiste du domaine scientifique visé), cela implique par exemple de suivre au minimum l'équivalent de deux à trois années d'études universitaires en physique mathématique. Au risque, sinon, que les mots du monde quantique restent de pures coquilles vides et que les œuvres mêlant arts et sciences ne soient que de décevants simulacres²⁹.

Mais les scientifiques ne sont pas en reste, et doivent se méfier, de leur côté, du danger d'un scientisme aveuglant. Il est en effet illusoire de penser que le langage mathématique de la physique soit le seul à pouvoir cartographier l'univers et révéler son essence ultime. C'est donc d'un véritable bilinguisme que les liens arts-sciences ont besoin.³⁰ Avec une réelle envie de pénétrer pleinement l'autre monde, et d'être capable de comprendre et parler le langage de l'autre, même de façon partielle et imparfaite. Un bilinguisme éclairé pour tenter de lever un peu plus haut le coin du voile de l'invisible quantique.

²⁹ Il existe à ce sujet de nombreux « double cursus » dans la plupart des pôles universitaires et écoles d'ingénieurs. Des formations généralement très exigeantes, mais qui permettent aux étudiants d'acquérir un bilinguisme entre les deux cultures : science et design, science et philosophie, science et histoire...

³⁰ Christian Ruby, « De la plasticité d'un archipel artistique et scientifique », *Plastir*, No 52, 12/2018 ; Dossier « La science manque-t-elle d'humanité ? », dans « Science si humaine », *Le bulletin des Belles Lettres*, No 3, 2022.

ICONOGRAPHIE : Images libres de droit sous licence Wiki Commons.

* "Quantum Man" - Julian Voss-Andreae

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quantum_Man.jpg

* "Quantum Cloud" - Antony Gormley

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antony_Gormley_Quantum_Cloud_2000.jpg

* "Infinity Mirrored Room" - Yayoi Kusama

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%27Infinity_Mirrored_Room%E2%80%94The_Souls_of_Millions_of_Light_Years_Away%27_2013_by_Yayoi_Kusama_-_The_Hirshhorn_Museum_\(DC\)_March_2017_\(34420154200\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%27Infinity_Mirrored_Room%E2%80%94The_Souls_of_Millions_of_Light_Years_Away%27_2013_by_Yayoi_Kusama_-_The_Hirshhorn_Museum_(DC)_March_2017_(34420154200).jpg)

* "A contre-courant" - Paul Kichilov

<https://www.paulkichilov.com/gravures>

* "Stardust particle" - Olafur Eliasson

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OLAFUR_ELIASSON_BIZITZA_ERREALAN-Guggenheim_Bilbo_2020-2021_09.jpg
<https://www.artshebdomedias.com/agenda/olafur-eliasson-in-real-life/>

* "Gard Blue" - Jame Turrell

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_turrell_\(19420578394\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_turrell_(19420578394).jpg)

* "Data Verse" - Ryoki Ikeda

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Data-verse_\(Projektionsausschnitt\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Data-verse_(Projektionsausschnitt).jpg)

* "In Silence" - Chiharu Shiota

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chiharu_Shiota%E2%80%99s_The_Soul_Trembles_exhibition_QGOMA_14.jpg
<https://www.chiharu-shiota.com/in-silence-1>

* "Multiverse" - Leo Villareal

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Multiverse_-_Leo_Villareal.JPG

* "Vertical Road" - Akram Khan

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akram_Khan_Company_performing_Vertical_Road_at_Curve_Theatre_in_November_2010.jpg

* "Black Rain" - Semiconductor

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standbild_des_Videos_Black_Rain_des_britischen_K%C3%BCnstlerduos_Semiconductor.jpg