



HAL
open science

Double découverte et sérendipité

François Dubois

► **To cite this version:**

François Dubois. Double découverte et sérendipité. Danièle Bourcier, Pek van An del. La Sérendipité. Le hasard heureux, Hermann, pp.239-247, 2011, 9782705670870. hal-04772641

HAL Id: hal-04772641

<https://hal.science/hal-04772641v1>

Submitted on 8 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Double découverte et sérendipité

François Dubois ^{ab}

^a *Association française de science des systèmes (Afscet)*

^b *Conservatoire National des Arts et Métiers*

francois.dubois@cnam.fr

12 septembre 2009 *

Résumé

Nous plaçons ce travail dans le paradigme de l’hypothèse fractaquantique qui suppose que les principes généraux de la mécanique quantique sont valables pour l’ensemble des composants de la nature, quelle que soit leur taille. Cette approche encore en développement propose une grille d’interprétation non classique des phénomènes sociologiques et humains.

Nous proposons deux modèles dans cette contribution. D’une part, un modèle quantique d’interactions entre échelles pour la mesure de l’intérêt social d’une découverte ; il permet de donner une interprétation de l’influence sociale d’une double découverte. D’autre part, nous interprétons la sérendipité comme une observation “en première personne” à la façon de Varela. Un modèle mathématique en découle, encore très largement prospectif.

Introduction

Ce texte reprend l’essentiel de notre communication de juillet 2009 au colloque de Cerisy sur la sérendipité. Nous étudions la double découverte et la sérendipité avec l’hypothèse fractaquantique, outil d’analyse introduit en 2002. Comme cette hypothèse n’est pas classique, nous consacrons le premier paragraphe à sa description, de façon aussi pédagogique que possible. Puis après quelques exemples de doubles découvertes, nous étudions l’impact d’une découverte du point de vue de la reconnaissance sociale. Enfin, la sérendipité pose le problème de la mesure à une même échelle où l’on ne peut plus distinguer l’observateur de l’observé.

* Edition du 01 septembre 2015 de la contribution présentée au colloque de Cerisy-La-Salle “La sérendipité dans les sciences, les arts et la décision”, du 20 au 30 juillet 2009. Publiée dans l’ouvrage *La Sérendipité. Le hasard heureux*, sous la direction de Danièle Bourcier et Pek van Anel, pages 239–247, Hermann, Paris, 2011, ISBN : 9782705670870.

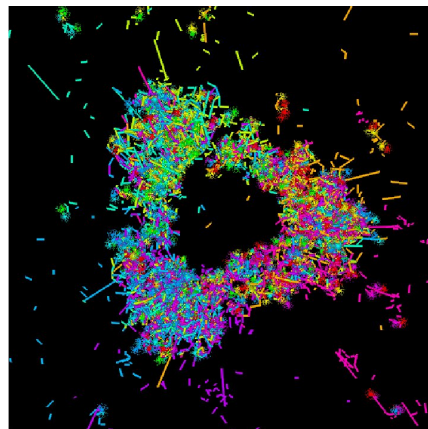
Hypothèse fractaquantique

L'hypothèse fractaquantique repose sur deux remarques. D'une part, la nature est fractale, identique à elle-même à diverses échelles. D'autre part, elle est quantique dans le champ de l'infiniment petit. Nous explicitons d'abord ces deux notions, et commençons par l'aspect fractal.

La notion d'invariance d'échelles est illustrée par exemple par la courbe de Helge von Koch (1904), construite à l'aide un algorithme simple. On se donne un segment de droite dans le plan. Puis à chaque itération, on remplace chaque segment par une pointe formée de quatre segments de longueur égale au tiers du segment en cours de découpe. Cette courbe "fractale" reste invariante si on lui fait subir une famille d'homothéties bien choisies : une partie de la courbe est analogue au tout. Autre exemple, l'ensemble "M" de Mandelbrot défini à l'aide de règles algébriques qui peuvent s'énoncer en moins d'une ligne, lui aussi fractal, contient en son sein des copies de lui-même. Le grand mérite de Benoît Mandelbrot (1975) est d'avoir reconnu que cette propriété est également présente dans la nature la plus familière, comme les nuages, les arbres ou les choux Romanesco (voir la photo ci-dessous). Notre description de la nature repose également sur le fait empirique qu'aux diverses échelles spatiales, des structures stables sont présentes : électrons, nucléons, atomes, molécules, virus, bactéries, cellules, êtres vivants, structures sociales, ainsi que remarqué depuis longtemps pour la modélisation des systèmes complexes (Ludwig von Bertalanffy (1968), Jean-Louis Le Moigne (1999), Eric Schwarz, 2006). Nous appelons "atomes" (avec des guillemets !) ces différents composants stables de la nature, en nous référant à une antique tradition grecque et aux "atomes" de Démocrite (voir Jean Salem, 1997). De façon plus précise, nous proposons (2005) de définir un "atome" comme un élément de la nature dont les propriétés qualitatives sont modifiées dans au moins l'une des parties si on le divise en deux.

La mécanique quantique a émergé au début du vingtième siècle pour expliquer les structures discrètes de la lumière émise par les atomes. En 1885, Johan Balmer avait paramétré la longueur d'onde des émissions lumineuses de l'hydrogène à l'aide des nombres entiers. Pour comprendre l'effet photo-électrique, Albert Einstein (1905) suppose que la lumière est composée de grains élémentaires, de composants "insécables", les photons. Puis Niels Bohr propose en 1913 un modèle de l'atome qui introduit explicitement une structure discrète. Le "formalisme de Copenhague" se met en place dans les années 1930 ; une particule élémentaire comme un électron ou un proton y est représentée par une "fonction d'onde" $\psi(x, t)$, nombre complexe qui dépend de l'espace x et du temps t et le carré du module de $\psi(x, t)$ permet de calculer la densité de probabilité de présence de la particule. En évolution libre, le système quantique suit une équation d'évolution dynamique proposée par Erwin Schrödinger (1926). La structure de l'équation induit naturellement un théorème de conservation de la probabilité totale. Avec cette description, il faut renoncer

à l'idée d'une "particule" qui suit une "trajectoire" au bénéfice d'une "description ondulatoire". Lors d'une mesure faite par un observateur sur le système microscopique, la fonction d'onde est modifiée de façon brutale ; il y a "réduction du paquet d'ondes" qui met en évidence une "particule", propriété qui se traduit mathématiquement par une projection sur l'état observé lors de la mesure. Nous remarquons ici la violence d'un tel processus puisque l'état présent juste après la mesure est imposé par les caractéristiques du résultat-même de cette mesure ! Nous renvoyons le lecteur au traité classique de Lev Landau et Evgueni Lifchitz (1958), à celui de Claude Cohen-Tannoudgi, Bernard Diu et Franck Laloë (1977) ou au livre d'introduction d'Etienne Klein (2007). Pour les réflexions d'ordre philosophique relatifs à la mécanique quantique, les ouvrages de Bernard d'Espagnat (1994) et Michel Bitbol (1996) font autorité. La mécanique quantique est une théorie phénoménologique qui demande des développements mathématiques élaborés comme les espaces de Hilbert, les opérateurs linéaires, les matrices, les projecteurs, *etc.* Elle permet de faire des prédictions quantitatives remarquables en physique nucléaire, en physique atomique ou en chimie.



Chou Romanesco (photo de l'auteur, à gauche)
et représentation du proton (image créée par Jean-François Colonna en 1992, à droite).

Un point spécifique mérite d'être souligné. Il concerne d'indiscernabilité et la structure induite pour les "quants". Un quanton (mot introduit par Françoise Balibar et Jean-Marc Levy-Leblond, 1984) est un élément de la nature dont la description théorique est contrainte par le paradigme général de la mécanique quantique. On pourrait aussi employer le vocable d'"objet quantique". Mais le mot "objet" nous semble plus qu'inapproprié quand on parle des constituants fondamentaux de la matière et de la lumière. Avec Werner Heisenberg (1972), nous pensons que "les atomes ne sont pas des choses". Par ailleurs, la dénomination de "sujet quantique" nous semble délicate aussi car traditionnellement le

sujet sait dire “je” (René Descartes, 1637) ou au moins a conscience d’un “moi” (Sigmund Freud, 1923). Cette façon de nommer les quantons reviendrait à étendre à toutes les échelles de la nature l’idée de Blaise Pascal (1670) de “roseau pensant”. De telles idées ont pu être proposées par ailleurs mais il n’est pas de notre propos de les discuter ici.

Deux quantons de même nature sont toujours indiscernables et cette remarque fonde une structure. Selon que la fonction d’onde associée est symétrique ou anti-symétrique dans l’échange de deux constituants, on a séparation des quantons en “matière” d’une part comme le proton ou l’électron et “relation” d’autre part, comme le grain de lumière, le photon. La matière est composée de fermions qui sont indiscernables et suivent la statistique de Fermi-Dirac. Une conséquence importante s’exprime *via* le “principe d’exclusion de Pauli” (1925) : deux fermions analogues ne peuvent pas occuper une même position dans l’espace. Ainsi que le précise David Bohm (1951), “des électrons différents n’ont pas d’identité, puisqu’ils ne peuvent agir comme des objets séparés et distincts, qui peuvent, eux, en principe, être identifiés”. Les relations ou interactions entre les éléments de matière sont également quantifiées et s’appellent des bosons. Indiscernables, ils suivent la statistique de Bose-Einstein et peuvent s’accumuler en un même lieu de l’espace comme le montrent les recherches sur les “condensats de Bose-Einstein” (Anderson *et al*, 1995). On peut (2006) formuler cette dualité des quantons de la façon suivante : la matière crée l’espace ; les bosons lui donnent une structure.

L’hypothèse fractaquantique (2002) suppose que les principes généraux de la mécanique quantique peuvent s’appliquer à tous les “atomes” de la nature, quelle que soit leur taille. La nature est à la fois fractale et quantique. Etant fractale, nous supposons qu’elle garde les mêmes propriétés qualitatives à toutes les échelles spatiales. De plus, la mécanique quantique est incontournable aux petites échelles spatiales. Donc l’hypothèse fractaquantique s’applique à l’ensemble de la nature (!). Avant d’aller plus loin concernant divers développements de cette hypothèse, il est fondamental de rappeler que le paradigme standard dans lequel se place la communauté des physiciens est que les lois de la physique quantique ne sont plus valables pour la macro-échelle. Nous renvoyons par exemple aux travaux de Dieter Zeh (1970) et de Wojciech Zurek (1982) sur la “décohérence”, c’est à dire la perte de corrélation des quantons dans l’interaction avec leur environnement et à sa mise en évidence expérimentale par le groupe de Serge Haroche (Michel Brune *et al*, 1996). Par ailleurs, les états quantiques “intriqués” proposés par Albert Einstein, Boris Podolsky, Nathan Rosen (1935) et David Bohm (1950), décelables suite aux “inégalités de John Bell” (1964) et mis en évidence par l’expérimentation d’Alain Aspect et son équipe (1982) se manifestent par une double présence dans l’espace ; ils imposent de réfléchir (2005) à la structure mathématique de cet *a priori* de notre perception, pour reprendre la formulation proposée par Emmanuel Kant (1781). Notre démarche, au lieu d’expliquer pourquoi le monde est classique aux échelles macroscopiques, cherche au contraire à met-

tre en exergue les acquis de la mécanique quantique pour des structures qui sont *a priori* déjà comprises *via* d'autres approches.

Ces éléments de contexte étant rappelés, il surgit une nouvelle difficulté. Les quantons, nous l'avons vu, sont fondamentalement indiscernables. Cette propriété s'exprime comme l'invariance mathématique des résultats interprétables dans l'échange des arguments du vecteur d'état lorsqu'il y a deux constituants ou plus. Ainsi l'indiscernabilité quantique contredit notre expérience quotidienne de l'altérité, de la différence existant entre deux êtres individués. Bien entendu, la tentation fut grande (2002) d'abandonner toute réflexion dans cette direction de recherche. Mais au lieu de renoncer et nous placer dans la pensée synthétisée par exemple dans l'article de Wojciech Zurek (1991, 2003), qui suppose simplement que "la mécanique quantique est valable uniquement aux échelles microscopiques", nous avons douté, nous appuyant sur le vieil adage cartésien que "les sens me trompent" (René Descartes, 1641). Nous avons alors réalisé que l'indiscernabilité de deux "atomes" analogues (même dans le monde vivant avec deux cellules ou deux mammifères !) est, malgré les apparences et dans certaines circonstances, une quasi-réalité. Ainsi, les êtres humains au sein d'une foule sont largement interchangeables (Sigmund Freud, 1921). Par ailleurs, la découverte des cellules totipotentes (ou cellules souches) lors du développement embryonnaire (Martin Evans et Matthew Kaufman (1981), Gail Martin, 1981) a mis en évidence une phase de l'évolution où la vie présente des facettes d'indiscernabilité. La découverte des neurones miroirs par l'équipe de Giacomo Rizzolati (voir Scott Grafton *et al*, 1996) donne aussi une structure où la question de l'individué peut être posée. Enfin, l'explicitation du code du génome humain (John Craig Venter *et al*, 2001) montre d'abord que tous les hommes possèdent essentiellement "le même" acide désoxyribonucléique avec une précision de 99,9%. Bien entendu, compte tenu de la longueur du code génétique, le 0,1% restant permet de créer une variété en soi très riche, ainsi que le pose par exemple Albert Jacquard dans son *Eloge de la différence* (1978). Mais "au premier ordre", l'indiscernabilité de deux êtres humains est une hypothèse raisonnable. D'ailleurs, ainsi que l'exprime Emmanuel Nunez, il ne faut pas oublier l'existence de la médecine et il a pu énoncer (2003) : "la part d'indiscernabilité est ce qu'il y a de commun à tous les hommes".

En conclusion de ce paragraphe crucial, l'indiscernabilité quantique confrontée à notre expérience quotidienne de l'altérité ne remet pas en cause l'hypothèse fractaquantique, mais la place comme une approche recevable pour décrire "au premier ordre" la nature. Bien entendu, elle ne décrit pas une possible "brisure de l'invariance d'échelle" qui permettrait de construire ensuite une théorie plus précise, "au second ordre". Au cours du colloque à Cerisy, Evelyne Gayou (2009) et Francis Danvers (2009) ont pointé l'importance des travaux du philosophe Gilbert Simondon (1964) sur l'individuation et nous les en remercions chaleureusement ici. Une phrase de Simondon comme "l'être est donné dans chacune

de ses phases, celle du préindividuel et celle d'individué" doit pouvoir se réinterpréter dans le cadre fractaquantique. Nous renvoyons le lecteur à des travaux à venir.

La dualité matière-relation induite par la mécanique quantique est ensuite une source quasiment inépuisable d'idées. En effet, l'assemblage de "deux en relation", l'addition (au sens de l'addition des moments angulaires en mécanique quantique) de deux fermions indiscernables crée un boson, structure relationnelle limitée dans le temps (2003). Les exemples sont nombreux, allant de la molécule bi-atomique aux diverses facettes du couple ou à la femme enceinte et son fœtus. Ensuite, l'assemblage de "trois en relation deux à deux" crée une boucle, comme dans un nucléon, indissociable des trois quarks qui le constituent, associé aux gluons qui passent leurs temps à "transmettre des liens de couleur". Nous renvoyons à ce sujet à la magnifique illustration de Jean-François Colonna (1992), reprise ci-dessus.

Les structures complexes peuvent se modéliser grâce à la théorie des graphes, qui permet de représenter la matière et les "liens de bavardage" permanents qui la relie. Le point fondamental est que la stabilité des structures complexes n'a de sens que relativement aux relations sous-jacentes. On oublie souvent que la structure-même des atomes qui constituent les briques des molécules de nos cellules est avant tout une affaire d'électricité et de magnétisme ! Une remarque importante concerne la topologie et l'importance des boucles (2007). L'emploi de la théorie des graphes induit une question naturelle non résolue, afin d'imaginer une structure récursive pour le changement d'échelle. En effet, à partir d'une structure donnée "atome"-lien ou matière-relation, comment imaginer un autre "atome" à une échelle supérieure ? L'idée est de s'intéresser aux boucles du graphe induit à une échelle donnée et de mettre en évidence des boucles de longueur minimale qu'il pourrait être possible d'identifier aux atomes d'échelle plus grande. Nous avons aussi imaginé (2005) un lien entre embryogénèse et acupuncture grâce à des "états macroscopiques intriqués", hypothèse très largement spéculative que nous ne développons pas ici.

Bien entendu, des idées analogues à l'hypothèse fractaquantique ont été proposées par d'autres auteurs. Nous citons par exemple (et la liste n'est pas limitative !) Sylvie Joubert (1991), Laurent Nottale (1992), Henry Stapp (1995), Marcel Locquin (1995), Stuart Hameroff et Roger Penrose (1996), Johnjoe McFadden (2001), Giuseppe Vitiello (2001), Mioara Mugur-Schächter (2002), Evelyne Andreewsky (2002), Keith van Rijbergen (2004), Peter Bruza *et al* (2009). En ce qui concerne notre démarche, la création du groupe "Quantum Interaction" (Stanford, 2007), nous a permis de confronter notre hypothèse à un groupe de scientifiques qui partage le paradigme suivant : "Quantum mechanics is emerging from physics into non-quantum domains such as human language, cognition, information retrieval, biology, political science, organizations, and artificial

intelligence”. Signalons qu’un programme de recherche expérimentale au niveau macroscopique (sciences cognitives !) a été proposé par Peter Bruza *et al* (2008) afin de mettre en évidence des effets d’intrication dans la mémorisation des mots. La mise en évidence de ce type d’effets fait appel à des généralisations des inégalités de type “inégalités de Bell”, comme dans le travail de Dagmar Bruss *et al* (2009). L’hypothèse fractaquantique est donc un sujet actif de recherche que nous adoptons comme paradigme de référence pour la conception des modèles dans la suite de cette contribution.

Quelques exemples de doubles découvertes

Les collégiens Français savent bien que les lois de l’optique géométrique (réflexion et réfraction) sont les “lois de Descartes” (1637) et ils sont parfois surpris d’apprendre que ce sont en fait les “lois de Snell” (1621). En effet, ce travail quasiment non publié a été reconnu par Christian Huyghens plusieurs décennies plus tard... La question est même posée de savoir si la science arabe avec Ibn Sahl (940-1000), mathématicien à la cour de Bagdad, auteur en 984 d’un traité “sur les miroirs brûlants et les lentilles qui peuvent focaliser la lumière en un point” a énoncé ou pas la loi de la réfraction sous forme moderne. Selon Ahmed Djebbar (2001, page 270), le lien entre l’angle de réfraction et la nature du corps transparent n’est pas complètement explicité chez Ibn Sahl, même si l’essentiel du résultat est qualitativement correctement représenté.

Un second exemple concerne la mise en place du calcul infinitésimal par Gottfried Leibniz et Isaac Newton à la fin du dix-septième siècle, laquelle a donné lieu à une polémique décrite dans le livre d’Ami Dahan et Jeanne Peiffer (1986). Leibniz publie en 1684 sa *Nouvelle méthode pour les maxima et minima* avec l’essentiel des notations modernes, comme le symbole intégral issu d’un allongement d’une “summa” latine et la variation infinitésimale “ dx ” d’une grandeur x . Newton dispose de façon indépendante de la *Méthode des fluxions* depuis 1671 mais qui ne sera publié qu’en 1736. Signalons ici que pour résoudre numériquement une équation algébrique de la forme “ $f(x) = 0$ ”, Newton remplace la courbe par sa tangente à chaque étape, ce qui donne naissance à un algorithme prodigieusement efficace qui porte toujours son nom !

Dans leur livre (2009), Pek van Andel et Danièle Bourcier relatent la polémique entre Friedrich Kékulé et Archibald Scott Couper (1858) à propos de la structure de l’atome de carbone. Au “rêve de Kékulé”, raconté en 1890, l’existence du livre (1854) d’Auguste Laurent (1807-1853) permet d’imaginer une possible source d’inspiration. Plus récemment, la découverte simultanée du “quark charmé” $J-\psi$ en 1974 par Burton Richter et Samuel Ting a donné lieu à un jeu coopératif avec publication des deux articles dans le même numéro de la *Physical Review* ! De plus, ces co-découvreurs ont été tous deux récipiendaires du Prix Nobel de Physique dès 1976. Dans son livre qui décrit sa vision de la physique contemporaine (2007), Lee Smolin nous relate (page 97) l’invention de la brisure spontanée

de symétrie par François Englert et Robert Brout en 1964. Indépendamment de cette équipe, Peter Higgs propose une idée très voisine la même année. Ces travaux ont donné naissance à ce qu'on appelle depuis le "mécanisme de Higgs" et à la recherche actuelle au centre européen de recherche nucléaire du "boson de Higgs". Tandis que le nom de Higgs fait le tour de la planète, qui sait que ces trois auteurs ont reçu, ensemble, le prix Wolff de Physique en 2004 ?

A un niveau plus modeste, j'avais été fort déçu de constater que ma proposition (1991) de formalisation de la "méthode de Van Leer" pour le traitement numérique des équations hyperboliques avait été, sous une forme fort voisine, proposée par "H. Wu" (1989) quelques semaines seulement avant que je finisse la rédaction du manuscrit. Le sujet était "dans l'air" depuis une dizaine d'années. Et seulement six mois plus tôt, un collègue chinois avait eu une idée tellement voisine que l'essentiel de la contribution se réduisait à la portion congrue. L'épilogue de cette anecdote est à la fois joyeuse et mélancolique. Une dizaine d'années plus tard (en 1999), j'ai co-organisé dans le cadre de l'institut sino-français de mathématiques appliquées un colloque d'aérodynamique numérique à Xian. Ce travail a donné lieu à la publication d'un ouvrage (2001) dont j'ai été chargé de la co-édition en compagnie d'un collègue charmant, Wu Huamo. Je travaillais sur d'autres sujets et avais oublié l'épisode précédent. Plusieurs mois plus tard, reprenant la lecture du papier de 1991, j'ai fait le rapprochement entre la référence à "H. Wu" et mon collègue Wu Huamo. Je reporte ici les éléments de notre échange de courriers électroniques. Le 15 octobre 1999, je lui écris : "I have worked recently on old stuff done in the 90's on so-called "Lagrange limiters" (see the book of Proceedings of Kreiss's 60th birthday). I refered in my contribution to the MmB method proposed by "H. Wu" (8 th GAMM conference on numerical methods in fluid mechanics, sept. 89). Do you have some relation with this scientist ?". Sa réponse le 17 octobre 1999 s'intitule simplement "H. Wu is me!" et il écrit dans son courriel : "It is so interesting that you refered to my paper on MmB method, which was done near the December of 1988. MmB means Maximum and minimum Bounds preserving method. The criterions for MmB and TVD in one-dimensional case are little bit different. We do not have second order TVD schemes in two space dimensions, but MmB does." J'ai voulu ensuite l'inviter en France pour travailler ensemble. Hélas, mes courriers électroniques n'ont alors reçu aucune réponse.

Découverte et reconnaissance sociale

Nous élargissons la question de la double découverte et la posons maintenant sous la forme suivante : comment la société prend-elle en compte les découvertes ? Remarquons d'abord que certaines découvertes peuvent rester en sommeil très longtemps. Ce fut le cas pour celle d'Aristarque de Samos qui, dès 290 avant Jésus Christ, place le soleil au centre de l'univers et s'intéresse au mouvement de la terre. On peut citer aussi l'exemple

de Bernard Bolzano qui découvrit le “théorème des valeurs intermédiaires” vers 1817 et ce résultat fin d’analyse restera ignoré pendant près de cinquante ans. Nous pourrions multiplier les exemples d’œuvres méconnues car trop en avance sur leur temps, travaux oubliés ou redécouverts après coup, comme le montre par exemple le travail d’Etienne Klein (2009) à propos du physicien Ettore Majorana.

Nous notons que l’intérêt social va essentiellement aux questions qui “sont dans l’air”. Ainsi, la mesure par Arthur Eddington à Sao Tomé aux large des côtes africaines de la déviation par le soleil des rayons lumineux d’une étoile lors de l’éclipse totale de mai 1919 (voir Frank Dyson *et al*, 1920) fut un fait important (trop ?) attendu dans l’établissement de la théorie relativiste de la gravitation, proposée par Albert Einstein en 1915. Nous avons déjà évoqué le quark charmé découvert deux fois en 1974 et n’oublions pas le célèbre “boson intermédiaire” mis en évidence au centre européen pour la recherche nucléaire par l’équipe de Carlo Rubbia (1984) qui lui valut le prix Nobel la même année. La question actuelle de la possible existence d’une “énergie sombre” suite à l’observation par Adam Riess *et al* (1998) de la vitesse anormalement grande de la fuite des galaxies qui induit une expansion de l’univers incompatible avec les seules observations de matière, est une question majeure de l’astrophysique contemporaine. Enfin, une somme d’argent importante est offerte aux mathématiciens, on le sait toujours désintéressés des choses matérielles, afin de les inciter à résoudre l’un des sept “problèmes Clay”, proposés en 2000.

De façon générale, les chercheurs poléminent et/ou négocient les questions d’antériorité par l’intermédiaire de publications qui attestent devant la communauté scientifique de l’originalité de leur travail et leur confère une reconnaissance sociale, symbolique et matérielle grâce à des prix, des distinctions, l’obtention de postes prestigieux, etc. Dans les exemples précédents, il y a un lien clair entre un corpus de connaissances abstraites (une théorie) et les observations (l’expérience). On peut dire que d’une certaine façon, la société “mesure” l’intérêt qu’elle porte à la découverte. De ce point de vue, la double découverte crée un débat social *a priori*, qu’il soit conflictuel ou consensuel. Nous notons que cette conjonction de faits associés à la multiplicité des acteurs renforce la visibilité sociale de la découverte.

De façon analogue au travail mené sur les systèmes de votes (2008, 2009), nous proposons dans cette contribution un modèle mathématique de la mesure de l’intérêt social d’une découverte en utilisant le formalisme issu de la mécanique quantique. On dispose d’une part d’un “petit” “atome” δ ” qui est ici une découverte reconnue par les experts et d’autre part d’un “grand” “atome” qui est la société toute entière (sans oublier sa gouvernance !). La société met en place un espace de Hilbert H engendré par les conjectures γ , c’est à dire l’ensemble des propositions qui pourraient être vraies, ou bien encore les questions

qui sont “dans l’air”. L’espace H est la somme directe des sous-espaces $E(\gamma)$ relatifs aux diverses conjectures. Chaque sous-espace $E(\gamma)$ caractérise une question ouverte. On peut supposer que ce sous-espace est de dimension plus ou moins grande selon l’attente sociale relative à un sujet donné. Considérons maintenant l’opération sociale P d’attribution d’un prix scientifique pour fixer les idées. Si la découverte ξ appartient à l’espace $E(\gamma)$, elle correspond exactement au type de résultat attendu et on a un vecteur propre pour cette opération. On écrit $P \bullet \xi = p(\gamma) \xi$ et le montant $p(\gamma)$ du prix est également la “valeur propre” $p(\gamma)$. Introduisons maintenant une découverte δ sans relation directe *a priori* avec une des conjectures précédentes. A cause de la structure linéaire de ce modèle, on peut toujours la décomposer sur la somme des sous-espaces $E(\gamma)$, sous la forme : $\delta =$ somme des $\delta(\gamma)$, de façon analogue à la détermination des trois coordonnées d’un point de l’espace ordinaire de dimension trois. Alors la probabilité pour une découverte δ d’obtenir la reconnaissance sociale via la conjecture γ est égale au carré du module de $\delta(\gamma)$, ce qui constitue précisément la fameuse “règle de Born”. En particulier, comme la double découverte renforce l’intérêt social et fait croître la dimension de cet espace, elle augmente la probabilité de reconnaissance liée à la règle de Born. On pourra trouver très préliminaire le modèle précédent qui demande il est vrai à être précisé d’un point de vue quantitatif. Il a toutefois l’intérêt d’introduire naturellement le hasard et les probabilités des diverses occurrences. Avec la mécanique quantique, on calcule toujours des probabilités, mais en suivant d’autres règles que les règles usuelles ! Cette étude sur l’interaction entre le tissu social et les découvertes des chercheurs montre qu’un premier modèle peut être proposé dans le cadre de l’hypothèse fractaquantique. L’effet de la double découverte et des débats qu’elle suscite est essentiellement de renforcer sa visibilité sociale et faire admettre à un très grand nombre une avancée scientifique caractéristique de l’époque.

La sérendipité comme “observation en première personne”

La sérendipité est l’art de trouver ce que l’on ne cherche pas, savoir interpréter avec justesse le jaillissement d’un fait inattendu. Nous cherchons à construire un modèle mathématique en vue de lui donner une représentation abstraite de type “projection sur un sous-espace”. Comme nous l’avons vu plus haut, une mesure, dans un cadre fractaquantique, est la donnée d’un “gros” “atome” qui conçoit la mesure, en l’occurrence le sujet, d’un espace de Hilbert H et d’un opérateur d’observation A qui opère sur l’espace H . Les sous-espaces propres $E(\lambda)$ de l’opérateur A définissent une décomposition de cet espace sous forme de somme directe orthogonale : le vecteur d’état ψ est la somme des $\psi(\lambda)$ étendue à toutes les valeurs propres λ . Le résultat de la mesure vaut λ avec une probabilité égale, grâce à la règle de Born, au carré de la composante $\psi(\lambda)$ du vecteur d’état ψ sur le sous-espace propre $E(\lambda)$.

Peut-on faire rentrer la sérendipité dans le cadre du paradigme vu au paragraphe précédent ? Si la grande échelle est naturellement l’observateur qui remarque (ou pas !) le fait étonnant, quelle peut-être la petite échelle ? Comment définir l’espace H et le vecteur d’état ψ ? On pourrait tenter une description multi-échelle comme pour le vote ou la double découverte. Mais la grande échelle étant déjà le sujet, la petite doit nécessairement être microscopique, c’est à dire typiquement la cellule, voire une échelle encore plus petite. Ce plongeon multi-échelles ne nous semble pas approprié devant un phénomène cognitif qui est de l’ordre d’une prise de conscience et nous ne cherchons pas ici à aborder *ab initio* la modélisation physique et chimique d’un processus cognitif, programme de grande ampleur qui dépasse largement le cadre de notre travail.

Sans délaissier à tout jamais ce type de description “en troisième personne” au sens traditionnel d’un sujet observateur et d’un objet observé, il nous semble approprié d’adopter le point de vue complémentaire développé dans les derniers travaux de Francisco Varela (1999) de “position en première personne”. Il s’agit pour le sujet de décrire avec ses propres mots ce qui se passe lors du processus cognitif en cours. C’est typiquement ce que fait Murray Gell-Mann lorsqu’il décrit (1995) son lapsus vécu au début de sa carrière en 1952 lors d’un exposé au prestigieux Institute of Advanced Studies à Princeton. L’étude des particules “étranges” demandait de maîtriser la notion d’isospin (variable notée traditionnellement I). Il écrit page 293 de son livre *Le quark et le jaguar* : « La tradition voulait que les états de particules nucléaires eussent des valeurs de l’isospin demi-entières $I = 1/2, 3/2, etc.$ Je m’apprêtais à dire : “supposons qu’elles ont un isospin $I = 5/2$ ”. Ma langue fourcha et je dis : “supposons qu’elles ont un isospin $I = 1$ ”. Je m’interrompis aussitôt, en me rendant compte que $I = 1$ ferait l’affaire ». Avec le recul, on peut dire que ce “lapsus sérendipitaire” permet de transgresser un interdit social, ici issu d’habitudes classiques au sein de la communauté des physiciens.

Nous proposons de ne pas décrire la sérendipité comme une mesure, même au sens étendu de l’approche fractaquantique, mais à l’aide de la notion d’observation en première personne de Varela. Rappelons que cette approche est issue du besoin en sciences cognitives d’une description par le sujet de ce qui s’est passé au cours d’une expérience, afin de pouvoir interpréter les résultats obtenus par les techniques “en troisième personne” de l’imagerie neuro-cérébrale. La difficulté fondamentale, classique en sciences cognitives, est que “le sujet” de l’expérience est également “l’objet” de cette expérience. Revue dans le paradigme fractaquantique, la sérendipité pose en fait le problème de la mesure à une même échelle où l’on ne peut plus distinguer l’observateur de “l’atome” observé. Nous proposons un modèle mathématique de la sérendipité relatif à une observation en première personne issu des méthodes de la mécanique quantique ; cette approche mathématique n’utilise qu’un seul niveau d’échelle. Nous notons V l’espace de Hilbert de référence qui modélise une représentation des connaissances du sujet en suivant typiquement l’approche

de Keith van Rijbergen (2004). Rappelons que la sérendipité est le jaillissement de l'imprévu, et surtout son observation non banale.

Nous introduisons un événement qui surgit comme un vecteur modèle η qui n'appartient pas à l'espace V . De cette façon, l'événement perturbateur est extérieur aux connaissances acquises par le sujet. On peut le supposer unitaire et il modélise l'observation d'une anomalie ou d'un lapsus, comme présenté dans de nombreux exemples par Pek van An del et Danièle Bourcier (2009). Nous pouvons représenter le vecteur η comme la somme d'une part de sa composante $P\eta$ sur l'espace V et d'autre part de sa composante $Q\eta$ sur l'espace orthogonal : $\eta = P\eta + Q\eta$. Que se passe-t-il si l'observation surprenante est prise en compte, condition préalable à la "sérendipité positive" que proposent Pek van An del et Danièle Bourcier (page 100) ? Dans ce cas, le sujet est capable d'intégrer l'événement η au sein de ses connaissances. Nous proposons d'étendre ici la règle de Born et de faire l'hypothèse que cette éventualité a lieu avec une probabilité égale au carré de la norme du vecteur $P\eta$. Dans ce cas, l'espace des connaissances du sujet est modifié. Un nouvel espace $V'(\eta)$ est créé pour intégrer la nouvelle information ; ce nouvel espace $V'(\eta)$ est la somme algébrique de V et de la droite (notée ici $\langle \eta \rangle$) engendrée par η : $V'(\eta) = V + \langle \eta \rangle$. L'expérience transforme le sujet, ainsi qu'en témoigne Murray Gell-Mann par ces quelques mots : "me rendant compte". On peut voir dans cette transformation une formalisation possible de l'accommodation proposée par Jacques Lévy (2009). Dans le cas contraire (de sérendipité négative ?), le sujet ne prend pas en compte l'événement inattendu. Pour ce modèle mathématique où les probabilités se calculent avec une extension de la règle de Born, le cas de figure a lieu avec une probabilité égale au carré de la norme du vecteur $Q\eta$. L'espace V reste inchangé. Le sujet n'est pas transformé puisqu'il n'y a pas interaction réelle avec l'inattendu. On notera que ces deux cas de prise en compte ou pas de l'inattendu se complètent logiquement, et ceci est une conséquence directe du théorème de Pythagore.

Nous ne pouvons pas ne pas parler pour terminer ce propos d'une difficulté conceptuelle qui surgit de la description proposée au paragraphe précédent. En effet, se donner un espace de Hilbert V est raisonnable d'un point de vue conceptuel. Mais si on introduit un événement η hors de cet espace, il convient de préciser dans quel espace W ce nouvel événement a lieu. Il est cohérent de poser cet espace de configuration W comme un espace de Hilbert et la contrainte mathématique que V doit être fermé pour la topologie de W est une condition naturelle pour assurer l'existence de la décomposition de l'événement η en deux composantes orthogonales. Mais nous avons la contrainte supplémentaire qu'*a priori*, l'espace W ne dépend pas du sujet ! En effet, deux sujets dont les connaissances sont modélisées par des espaces $V1$ et $V2$, face au même événement η , vont réagir de façon *a priori* indépendante. On peut s'attendre à ce que la sérendipité puisse ou non œuvrer pour chacun d'eux. Les deux espaces $V1$ et $V2$ sont donc inclus dans un même

espace W . L'existence et le statut de cet espace "universel" W est une véritable question qui surgit naturellement dans le cadre (et hors du cadre !) de notre modèle mathématique. De plus, il propose *a posteriori* une vision platonicienne de la sérendipité !

Références

- P. van Andel, D. Bourcier. *De la sérendipité dans la science, la technique, l'art et le droit ; leçons de l'inattendu*. L'Act Mem, Chambéry, 2009.
- M.H. Anderson, J.R. Ensher, M.R. Matthews, C.E. Wieman, E.A. Cornell. Observations of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor, *Science*, volume 269, p. 198-210, 1995.
- E. Andreevsky. Complexity of the "basic unit" of language: some parallels in physics and biology, in *Quantum mechanics, mathematics, cognition and action: proposals for a formalized epistemology*, M. Mugur-Schächter and A. van der Merwe (Editors), Kluwer Academic Publishers, p. 351-367, 2002.
- A. Aspect, P. Grangier, G. Roger. Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm gedanken experiment; a new violation of Bell's inequalities, *Physical Review Letters*, volume 49, numéro 2, p. 91-94, 1982.
- J. Bell. On the Einstein Podolsky Rosen Paradox, *Physics*, volume 1, numéro 3, p. 195-200, 1964. Voir aussi J. Bell. On the problem of hidden variables in quantum mechanics, *Reviews of Modern Physics*, volume 38, numéro 3, p. 447-452, 1966.
- L.von Bertalanffy. *Théorie générale des systèmes*, Dunod, Paris, 1968.
- M. Bitbol. *Mécanique quantique, une introduction philosophique*, Flammarion, Paris, 1996.
- D. Bohm. *Quantum Theory*, Prentice-Hall, 1951, and Dover, New York, 1979.
- N. Bohr. On the Constitution of Atoms and Molecules, Part 1, *Philosophical Magazine*, volume 26, p. 1-24, 1913.
- M. Brune, E. Hagley, J. Dreyer, X. Maitre, A. Maali, C. Wunderlich, J.M. Raimond, S. Haroche. Observing the progressive decoherence of the meter in a quantum measurement, *Physical Review Letters*, volume 77, p. 4887-4890, 1996.
- D. Bruss, S. Gharibian, H. Kampermann. Revealing Quantum Entanglement via Locally Noneffective Operations, Proceedings of the workshop "Quantum Interaction", Saarbrücken, 25-27 march 2009, *Lecture Notes in Computer Science*, number 5494 (P. Bruza *et al* Eds), p. 3-5, Springer, 2009.
- P.D. Bruza, K. Kitto, D.L. Nelson, C.L. McEvoy. Entangling words and meaning, second "Quantum Interaction" conference, Oxford, 26-28 mars 2008.
- P.D. Bruza, D. Sofge, W. Lawless, K. van Rijsbergen. *Lecture Notes in Computer Science*, number 5494, Springer, 2009.

- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloë. *Mécanique quantique*, Hermann, Paris, 1977.
- J.F. Colonna. Quark and gluon dynamics of the nucleon, <http://www.lactamme.polytechnique.fr>, 1992.
- A.C. Couper. Sur une nouvelle théorie chimique, *Annale de chimie et de physique*, volume 53, p. 469-503, 1858.
- A. Dahan-Dalmedico, J. Peiffer. *Une histoire des mathématiques ; routes et dédales*, Points, Seuil, Paris, 1986.
- F. Danvers. Communication personnelle, Cerisy, juillet 2009.
- R. Descartes. *Discours de la Méthode, La dioptrique*, Leyde, 1637.
- R. Descartes. *Méditations métaphysiques*, Paris, 1641.
- A. Djebbar. *Une histoire de la science arabe, entretiens avec Jean Rosmorduc*, Points, Seuil, 2001.
- F. Dubois. Nonlinear Interpolation and Total Variation Diminishing Schemes, *Third International Conference on Hyperbolic Problems*, Uppsala (Sweden), june 1990 (Engquist-Gustafsson Editors), Chartwell-Bratt, p. 351-359, 1991.
- F. Dubois. Hypothèse fractaquantique, 5th Congress of the European Union of Systemics, Heraklion, Crete, *Res-Systemica*, volume 2, octobre 2002.
- F. Dubois. Intégration de l'élémentaire et théorie quantique de l'ange, Séminaire Afscet (voir www.afscet.asso.fr), Moulin d'Andé, 18 mai 2003.
- F. Dubois. Pistes fractaquantiques, *Res-Systemica*, volume 4, numéro 2, 2005.
- F. Dubois. On fractaquantum hypothesis, 6th Congress of the European Union of Systemics, Paris, France, *Res-Systemica*, volume 5, 2006.
- F. Dubois. L'intelligence est dans les boucles ! Rencontres Afscet (voir www.afscet.asso.fr), Moulin d'Andé, 2-3 juin 2007.
- F. Dubois. On the measure process between different scales, 7th Congress of the European Union of Systemics, Lisboa, Portugal, *Res-Systemica*, volume 7, 2008.
- F. Dubois. On Voting Process and Quantum Mechanics, Proceedings of the workshop "Quantum Interaction", Saarbrücken, 25-27 march 2009, *Lecture Notes in Computer Science*, number 5494 (P. Bruza *et al* Eds), p. 200-210, Springer, 2009.
- F. Dubois, Wu Huamo (Editors). New Advances in Computational Fluid Dynamics-Theory, Methods and Application, *Proceedings of the ISFMA Conference on Computational Aerodynamics (Xi'an, september 1999)*, "Series in Contemporary Applied Mathematics" (Editeurs P.G. Ciarlet et Li Tatsien), volume 2, Higher Education Press, Pékin, 2001.
- F.W. Dyson, A.S. Eddington, C.R. Davidson. A determination of the deflection of light by the Sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of may

- 29, 1919, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, volume 220, p. 291-333, 1920.
- A. Einstein. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt, *Annalen der Physik*, volume 17, p. 132-148, 1905.
- A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen. Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete?, *Physical Review*, volume 47, p. 777-780, 1935.
- F. Englert et R. Brout. Broken symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons, *Physical Review Letters*, volume 13, p. 321-322, 1964.
- B. d'Espagnat. *Le réel voilé, Analyse des concepts quantiques*, Fayard, 1994.
- M. Evans, M. Kaufman. Establishment in culture of pluripotential cells from mouse embryos, *Nature*, volume 292, p. 154-156, 1981.
- S. Freud. Psychologie des foules et analyse du moi, 1921, in *Essais de Psychanalyse*, p. 129-242, Payot, Paris, 1981.
- S. Freud. Le moi et le ça, 1923, in *Essais de Psychanalyse*, p. 243-305, Payot, Paris, 1981.
- E. Gayou. Musique concrète, sérendipité et créativité : la dialectique du "faire et entendre", *La sérendipité dans les sciences, les arts et la décision*, colloque de Cerisy (P. van Andel et D. Bourcier, Eds), juillet 2009.
- M. Gell-Mann. *Le quark et le jaguar, voyage au cœur du simple et du complexe*, Albin Michel, 1995.
- S.T. Grafton, M.A. Arbib, L. Fadiga, G. Rizzolatti. Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography, *Experimental Brain Research*, volume 112, p. 103-111, 1996.
- S. Hameroff, R. Penrose. Conscious events as orchestrated spacetime selections, *Journal of Consciousness Studies*, volume 3, p.36-53, 1996.
- W. Heisenberg. *La Partie et le tout. Le Monde de la physique atomique*, Albin Michel, Paris, 1972.
- P. Higgs. Broken symmetry and the Mass of Gauge Bosons, *Physical Review Letters*, volume 13, p. 508-509, 1964.
- A. Jacquard. *Eloge de la différence ; la génétique et les hommes*, Seuil, Paris, 1978.
- S. Joubert. *La Raison polythéiste ; essai de sociologie quantique*, L'Harmattan, Paris, 1991.
- E. Kant. *Critique de la raison pure*, Johann Friedrich Hartknoch, Riga, 1781.
- F. Kékulé, Sur la constitution des substances aromatiques, *Bulletin de la Société Chimique de Paris*, volume 2, p. 98-110, 1865.
- E. Klein. *Voyage dans le monde des quanta*, Flammarion, Paris, 2007.

- E. Klein. La genèse de la physique quantique : entre hésitations et fulgurances, *La sérendipité dans les sciences, les arts et la décision*, colloque de Cerisy (P. van Andel et D. Bourcier, Eds), juillet 2009.
- H. von Koch. Sur une courbe continue sans tangente, obtenue par une construction géométrique élémentaire, *Arkiv for Matematik*, volume 1, p. 681-704, 1904.
- L. Landau, E. Lifchitz. *Mécanique quantique*, Cours de physique théorique, volume 3, Mir, Moscou, 1975.
- A. Laurent. *Méthode de Chimie*, Mallet-Bachelier, Paris, 1854.
- J. Lévy. La sérendipité comme compétence. Gérer les virtualités de l'espace urbain à l'âge de la société des individus, *La sérendipité dans les sciences, les arts et la décision*, colloque de Cerisy (P. van Andel et D. Bourcier, Eds), juillet 2009.
- M. Locquin. *L'invention de l'humanité*, avec une préface de Federico Mayor, La nuée bleue, Strasbourg, 1995.
- J.L. Le Moigne. *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris, 1999.
- J. McFadden. *Quantum Evolution ; the new science of life*, Flamingo, 2000.
- B. Mandelbrot. *Les Objets fractals, forme, hasard et dimension*, Flammarion, Paris, 1975.
- G. Martin. Isolation of a pluripotent cell line from early mouse embryos cultured in medium conditioned by teratocarcinoma stem cells, *Proceedings of National Academy of Science USA*, volume 78, p. 7634-7638, 1981.
- M. Mugur-Schächter. *Sur le tissage des connaissances*, Hermès, Paris, 2006.
- L. Nottale. The theory of scale relativity, *International Journal of Modern Physics A*, volume 7, numéro 20, p. 4899-4936, 1992.
- E. Nunez. Communication personnelle, Moulin d'Andé, 2003.
- W. Pauli. Über den Zusammenhang des Abschlusses der Elektronengruppen im Atom mit der Komplexstruktur der Spektren, *Zeitschrift für Physik*, volume 31, p. 373-385, 1925.
- B. Pascal, *Pensées*, Guillaume Desprez, Paris, 1670.
- B. Richter *et al.* Discovery of a Narrow Resonance in $e^+ e^-$ Annihilation, *Physical Review Letters*, volume 53, number 23, p. 1406-1408, 1974.
- A.G. Riess *et al.* Observational evidence from supernovae from an accelerating universe and a cosmological constant, *Astronomical Journal*, volume 116, p. 1009-1038, 1998.
- K. van Rijsbergen. *The Geometry of Information Retrieval*, Cambridge University Press, 2004.
- C. Rubbia. Physics results of the UA1 collaboration at the CERN proton-antiproton collider, Neutrino Physics and Astrophysics, *Proceedings of the 11th International Conference held 11-16 June, 1984 at Nordkirchen*, Edited by K. Kleinknecht and

- E.A. Paschos, World Scientific, Singapore, p. 1, 1984. Voir aussi C. Rubbia, Experimental observation of the intermediate vector bosons W^+ , W^- , and Z , *Review of Modern Physics*, volume 57, p. 699 - 722, 1985.
- J. Salem. *L'Atomisme antique ; Démocrite, Epicure, Lucrèce*, Librairie générale française, 1997.
- E. Schrödinger. An undulatory theory of the Mechanics of Atoms and Molecules, *Physical Review*, volume 26, numéro 6, p. 1049-1070, 1926.
- E. Schwarz. From Epistemology to Action, 6th Congress of the European Union of Systemics, Paris, France, *Res-Systemica*, volume 5, 2006.
- G. Simondon. *L'Individu et sa genèse physico-biologique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1964.
- L. Smolin. *Rien ne va plus en physique ! L'échec de la théorie des cordes*, Dunod, Paris, 2007.
- W. Snell. Notes manuscrites, Leiden, 1621.
- H. Stapp. *Mind, Matter and Quantum Mechanics*, Springer Verlag, Berlin, 1993.
- S. Ting *et al.* Experimental Observation of a Heavy Particule J, *Physical Review Letters*, volume 53, number 23, p. 1404-1406, 1974.
- F. Varela, J. Shear. First Person Methodologies: What, Why, How ? *Journal of Consciousness Studies*, volume 6, numéros 2 et 3, p. 1-14, 1999.
- J. C. Venter *et al.* The Sequence of the Human Genome, *Science*, volume 291, numéro 5507, 2001.
- G. Vitiello. *My Double Unveiled ; the dissipative quantum model of brain*, Advances in Consciousness Research, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam, 2001.
- H. Wu. MmB - A New Class of Accurate High Resolution Schemes for Conservation Laws in Two Dimensions, *Conference on Numerical Methods in Fluid Mechanics*, Delft, 27-29 sept 1989.
- H.D. Zeh. On the Interpretation of Measurement in Quantum Theory, *Foundations of Physics*, volume 1, p. 69-76, 1970.
- W.H. Zurek. Environment induced superselection rules, *Physical Review D*, volume 26, numéro 8, p. 1862-1880, 15 October 1982.
- W.H. Zurek. Decoherence and the transition from quantum to classical, *Physics Today*, 1991, version actualisée arXiv:quant-ph/0306072, 2003.