

Ces mystérieux quanta*

O. COSTA DE BEAUREGARD

Fondation Louis de Broglie,
23 rue Marsoulan 75012 Paris

RÉSUMÉ. On argue que le formalisme de la mécanique quantique relativiste équivaut au *code* d'un télégraphe d'information *corrélant*, via l'*amplitude de transition* Lorentz et CPT invariante de Feynman, les *représentations* préparées (émises, codées) $\langle \varphi |$ ou mesurées (reçues, décodées) $|\psi\rangle$ qui *interfèrent* entre elles. La *décohérence* inhérente à la *mesure* (*rétropréparation* dit Hoekzema) et celle, radicale, impliquée dans la *préparation* engendrent un «croquis style Picasso» accepté par consensus : le *réel empirique* de d'Espagnat. L'approximation de calcul exprimant la décohérence ne *peut certainement pas* engendrer ni formaliser un «réel autoporteur». Ce ne sont donc pas des «histoires consistantes de particules» que contiennent les archives des laboratoires, mais des recueils de questions et réponses cherchant à cerner «les lois de la Nature», c'est à dire *le code du télégraphe*. La *représentation* suit le réel dans la *mesure* et précède la réalisation dans la *préparation*. Les deux faces de l'information d'Aristote, *organisation* et *connaissance*, sont ainsi actualisées par *deux interventions réciproques* du physicien. Avec Wigner nous pensons que *de droit* la psychocinèse est *réciproque* à la connaissance, mais qu'*en fait* la petitesse en unités pratiques du k de Boltzmann rend la seconde normale et la première 'paranormale'. On pense aussi que cet *au-delà du réel* qu'écarte le rejet des relations de phase mais qui «revient par la fenêtre» sous forme de *non-séparabilité* n'est autre que «le paranormal». Un test est proposé, associant psychocinèse et corrélation EPR.

ABSTRACT. It is argued that the formalism of relativistic quantum mechanics amounts to the code of an information transmitting telegraph *correlating*, via the Feynman Lorentz and CPT invariant transition amplitude,

* Une incompatibilité informatique ayant entraîné un nombre important d'erreurs dans cet article, déjà publié p. 135, nous le reproduisons ici à nouveau, après corrections.

prepared (emitted, coded) $\langle\phi|$ and measured (received, decoded) $|\psi\rangle$ interfering representations. *Decoherence* inherent in *measurement* (*retro-preparation* says Hoekzema) and the still more radical one implied in *preparation* generate a Picasso style picture accepted by a consensus -d'Espagnat's *empirical reality*. Obviously, the computational approximation expressing decoherence cannot generate nor formalize a self supporting reality. Therefore the laboratory archives do *not* contain "consistent histories of particles" but records of questions and answers aiming at uncovering "the laws of nature" –the code of the telegraph. Representation follows reality in measurement and precedes realization in preparation; the twin faces of Aristotle's information, *organization* and *cognizance*, are thus actualized in *reciprocal interventions* of the physicist. With Wigner we believe that psychokinesis is the lawlike reciprocal to cognizance, but is made *factlike paranormal* by the smallness in practical units of Boltzmann's k . We claim also that "the beyond reality" set aside by rejection of the phase relations but returning uninvited in the form of "nonseparability" is none else than the paranormal. A test associating psychokinesis with an EPR correlation is proposed.

1 Ainsi les nomma Louis de Broglie¹, l'Archimède du dualisme onde-particule.

Son *principe* éclaira le 'mystère' et contribua à le radicaliser. Aujourd'hui, un siècle après la découverte de Planck, 'l'interprétation de la mécanique quantique' reste 'un problème'. Georges Lochak et moi avons opté différemment quant à sa solution.

Lorsqu'en 1951 notre Maître, reprenant l'idée qu'il avait proposée au Conseil Solvay de 1927, recruta une équipe de 'seconde génération' pour étudier les modèles 'à déterminisme caché' je maintins ma ligne de recherche d'un 'formalisme quantique manifestement relativiste', et d'un discours interprétatif le décalquant littéralement. Plus tard, constatant que nous avions pourtant beaucoup de points d'accord, Georges et moi renouâmes le dialogue. Nous pensons par exemple que le théorème de Bell «enfonce une porte ouverte» en ce que sa formule, qui additionne et multiplie des *probabilités* (partielles et indépendantes), est *a priori incompatible* avec les règles de calcul de Born-Jordan, qui additionnent et multiplient des *amplitudes* ; il est donc *a priori* certain que « l'inégalité de Bell » sera « violée » sur plus d'un exemple.

A l'invitation de Daniel Fargue et de Michel Karatchentzeff je vais donc ici résumer mon « interprétation de la mécanique quantique ».

2 Formalisation et conceptualisation manifestement relativistes

seront exigées au sens *restreint*, parce qu'au sens *général* le problème est redoutable. Curieusement Louis de Broglie doutait de mon programme, s'étant persuadé d'une « radicale incompatibilité relativité-quanta » -alors que sa *mécanique ondulatoire* de 1924 était explicitement relativiste et quantique. Synthèse des formalismes d'abord rivaux de Heisenberg et de Schrödinger la *mécanique quantique* des années 26 privilégiait à la Newton le temps vis à vis de l'espace et l'énergie vis à vis de l'impulsion. Impressionné semble-t-il par la cohérence et l'efficacité de la doctrine Louis de Broglie avait pris acte, énonçant ses raisons par exemple à la fin de son livre² *L'électron magnétique*.

En vain j'arguais que *relativité* et *quanta* sont l'une et l'autre nées de la physique des ondes, que « la Nature » est à la fois quantique et relativiste, rien n'y faisait. Lorsqu'en 1946 un article de Marcel Riesz³ me livra la clé d'un formalisme covariant d'intégrales de Fourier réciproques Louis de Broglie n'y vit « que formalisme » ; c'est ce qu'il pensa aussi, semble-t-il, des schémas covariants de Schwinger et de Feynman, montrés équivalents par Dyson⁴. A partir de 1951 toute discussion de physique devint impossible entre Louis de Broglie et moi ; pourtant il continua de m'offrir ses livres aimablement dédicacés.

3 «L'interprétation probabiliste de Born-Jordan», code d'un télégraphe d'information.

En 1926 Born et Jordan proposent l'interprétation probabiliste de la mécanique ondulatoire ; en 1930 Dirac⁵ la codifie en théorie des représentations et en 1949 Feynman⁶ la met sous forme explicitement relativiste. Extension N-uple de l'amplitude de transition de Dirac le graphe de Feynman est une 'toile' topologiquement invariante corrélant un nombre quelconque de représentations préparées $\langle \phi |$ ou mesurées $|\psi\rangle$ rétropréparées dira Hoekzema⁷. La réversibilité hermitienne de l'amplitude de corrélation réactualise les symétries aristotéliennes entre information-organisation et information-connaissance et entre cause efficiente et cause finale. La représentation quantique du réel est d'un style plus qu'impressionniste : 'à la Picasso', tronquée qu'elle est par la 'complémentarité'. Le télégraphe d'information qu'est la mécanique quantique émet (prépare, code) et reçoit (mesure, décode) des représentations $\langle \phi |$ et $|\psi\rangle$ qui interfèrent dans l'amplitude de corrélation. La décohérence inhérente à la mesure et radicalement imposée dans la préparation associée à l'interférence intermédiaire fait bien plus «qu'éloigner et voiler un réel⁸» : elle schématise un semble-réel adopté par un préjugé con-

sensuel obtenu en gommant les relations de phase. Les archives des laboratoires ne contiennent pas des «histoires consistantes de particules» (puisque par exemple une «mesure à décision différée»⁹ 'réécrit à volonté l'histoire') mais des recueils de préparations et de mesures. Ce que dévoile l'investigation scientifique n'est donc pas du tout l'esquisse d'un «réel existant en soi» mais le code d'un télégraphe utilisé pour établir un discours consensuel.

Un audelà du réel est délibérément mis de côté par la décohérence, et de cette décision résulte un schéma déclaré 'connaissance'. La représentation suit le réel dans la mesure mais dans la préparation elle précède la réalisation ; ce sont là deux interventions actives du physicien qui sont mutuellement réciproques.

Soit dit incidemment, se demander « comment la conscience émerge de la complexification du cerveau » est l'envers du vrai problème qui est : comment la pré-conscience obtient-elle la complexification du pré-cerveau. Et revoilà l'information-organisation d'Aristote.

4 Digression sur le «principe de Bayes» et l'équivalence information-néguentropie.

Les concepts aristotéliens d'*information biface* et de *causalité réversible* sont solidairement impliqués dans celui de la *probabilité jointe* de Bayes. Souvent employé mais non conforme à la 'réversibilité' de la formule, le vocable « principe de probabilité des causes » est trompeur car il prétend faire une loi d'une jurisprudence.

Il importe de bien comprendre en quoi consiste ce que Mehlberg¹⁰ appelle *réversibilité physique de droit et irréversibilité de fait*.

La cybernétique fait son sésame de la formule de Bayes exprimant la probabilité jointe de deux occurrences corrélées en termes des probabilités conditionnelles inverses et des probabilités a priori réciproques; j'ai proposé¹¹ de l'écrire

$$|A).(B| \equiv |B).(A| = |A|B)(B| = |A)(A|B|. \quad (1)$$

En physique une corrélation entre occurrences est synonyme d'interaction ; la réversibilité bayésienne exprime alors la réciprocité action-réaction si la séparation est du genre espace ou cause efficiente-cause finale si elle est du genre temps. La causalité se trouve alors assimilée à la probabilité jointe -ce que Jaynes¹² dénonce comme «une confusion entre ontologie et épistémologie». Mais il faut savoir ce qu'on veut : ou la probabilité est essentielle, ou elle n'est qu'un trompe l'œil.

Si donc deux occurrences sont corrélées à travers le temps l'inversion bayésienne exprime une *réciprocité des faces connaissance et organisation de l'information* et elle l'associe à la *symétrie cause efficiente-cause finale*.

En cybernétique, où le codage imprime une organisation et le décodage exprime une connaissance l'équivalence information-négentropie $N/I = k \log 2$ formalise conjointement la réversibilité de droit et l'irréversibilité de fait de Mehlberg¹⁰ : le droit par la non-nullité de k , le fait par sa petitesse en unités pratiques. Semblablement, la grandeur de c en unités pratiques masqua longtemps, mais sa finitude enfin dévoila l'équivalence entre espace et temps. Ainsi, la petitesse de k masqua longtemps, mais sa finitude enfin révéla à la fois le minime coût négentropique de la connaissance et la légalité de l'action libre. Le neurochirurgien Eccles¹³, interprétant celle-ci par une pondération active des probabilités a priori finales au sein du réseau neural, assimile l'action volontaire à une psychocinèse -ce qu'en son temps proposait déjà Descartes¹⁴.

Wigner¹⁵, dans *Symmetries and Reflections*, énonce que d'après l'universel principe de l'action et de la réaction il doit exister, réciproque à « l'action directe de la matière sur l'esprit » (dans l'acte cognitif, le décodage) « une action directe de l'esprit sur la matière » (dans l'acte volitif, le codage). Il ajoute que cet effet pourrait être petit -réprimé en fait dirait Mehlberg.

La valeur en unités pratiques des constantes universelles de la physique (ces taux du change entre devises ayant cours dans deux provinces) en dit long sur notre situation existentielle. La 'petitesse des molécules', et donc la 'grandeur du nombre d'Avogadro', rend 'très petite' la constante k de Boltzmann. De ce fait notre information (connaissance et contrôle) des molécules est très médiocre. Pour nous la connaissance est donc 'très bon marché' mais l'organisation 'hors de prix' -au point que la « théorie de la conscience épiphénomène » tenait la connaissance pour gratuite et l'action libre pour illusoire.

La finitude de k exprime (d'accord avec Wigner) une réciprocity de droit entre gain de connaissance et psychocinèse, mais son extrême petitesse fait que l'une est normale et l'autre paranormale.

Dans trois Conférences Internationales auxquelles je participais R. Jahn¹⁶ exposa, dans le contexte de 'l'interprétation de la mécanique quantique', ses expériences mettant en évidence la psychocinèse à l'aide de générateurs aléatoires basés sur le bruit électronique.

5 Le paradigme probabiliste de Born-Jordan,

assimilant l'intensité de l'onde à la probabilité de manifestation de la particule, initie une révolution en calcul des probabilités : les amplitudes d'ondes ψ , non leurs intensités $\psi^*\psi$, s'ajoutant algébriquement. Born et Jordan additionnent et multiplient non plus des probabilités mais des amplitudes (partielles ou indépendantes).

Deux représentations, l'une $\langle\phi|$ préparée (émise, codée) l'autre $|\psi\rangle$ mesurée (reçue, décodée), sont corrélées par une amplitude $\langle\phi|\psi\rangle$ dont la réversibilité hermitienne

$$\langle\phi|\psi\rangle = \langle\psi|\phi\rangle^* \quad (2)$$

transpose la réversibilité boltzmannienne d'une probabilité de transition $(A|C) = (C|A)$. Cette formule exprime synthétiquement la symétrie CPT=1, car l'échange $\phi \leftrightarrow \psi$ exprime la symétrie PT et la conjugaison complexe l'échange particule-antiparticule C.

Les termes croisés ou interférentiels présents dans la probabilité de transition

$$(\phi|\psi) \equiv |\langle\phi|\psi\rangle|^2 \quad (3)$$

engendrent toute la phénoménologie de la non-séparabilité.

Notons par exemple qu'un photon « en vol » entre deux polariseurs linéaires n'est ni dans la représentation préparée $\langle\phi|$ ni dans la représentation rétropréparée $|\psi\rangle$ qui interfèrent via l'amplitude (2).

6 Transformations de Fourier inverses et égalité de Parseval pour les solutions de l'équation de Klein-Gordon.

L'équation de Klein-Gordon s'écrit en représentation k ($i,j,k,l = 1,2,3,4$; $x^4 = ict$)

$$(k_i k^i + k^2)\zeta(k) = 0 \quad (4)$$

ce qui implique soit $\zeta(k) = 0$ soit

$$(k_i k^i + k^2) = 0 ; \quad (5)$$

$\zeta(k)$ est donc une fonction complexe *quelconque* sur l'hyperboloïde à deux nappes d'équation (5).

Ecrire sous forme covariante un développement de Fourier du $\zeta(k)$, une norme quadratique, etc., est aisé, M. Riesz³ l'a montré. Ici *l'on veut de plus formaliser en termes covariants le passage aller-retour* entre une représentation $\zeta(k)$ et une représentation $\psi(x)$, ce que j'ai proposé voici longtemps^{17,18,19}.

La fonction d'onde $\psi(x)$ étant solution de l'équation

$$(\partial_i^2 - k^2)\psi(x) = 0 \tag{6}$$

on écrit symboliquement l'amplitude de transition de Fourier

$$\langle x || k \rangle := \exp(i k_i x^i) \tag{7}$$

la double barre rappelant qu'on se réfère à une équation du second ordre
L'élément de volume 4-vectoriel dv^i de l'hyperboloïde étant colinéaire à la 4-fréquence k^i l'on peut écrire, k étant positif,

$$k^i dv^i = -k dv^i, \quad k_i dv^i = k dv, \tag{8}$$

et l'on introduit l'indicateur de signe

$$\varepsilon(k) := \pm 1 \tag{9}$$

selon que la fréquence temporelle est positive ou négative.

L'amplitude de transition entre deux représentations ζ_a et ζ_b est définie par la formule

$$\langle a || b \rangle := \iiint \varepsilon(k) \zeta_a^* \zeta_b k_i dv^i \equiv \iiint \varepsilon(k) \zeta_a^* \zeta_b k dv \tag{10}$$

où l'intégrale est étendue aux deux nappes de l'hyperboloïde; cette formule vaut en particulier pour le noyau de Fourier (7) conçu comme fonction de k .

De la formule d'équivalence $i\partial \leftrightarrow k$ on infère, $i[\partial_i]$ notant l'opérateur du courant de Schrödinger ou de Gordon (différence des opérateurs agissant vers la droite et vers la gauche), la 'représentation x ' de l'amplitude de transition

$$\langle a || b \rangle := -\frac{1}{2} k^{-1} i \iiint \psi_a^*(x) [\partial_i] \psi_b(x) du^i, \tag{11}$$

l'intégrale conservative étant étendue à une hypersurface du genre espace.

L'expression covariante de l'égalité de Parseval est alors

$$\langle a || b \rangle = \langle x_a || x_b \rangle = \langle k_a || k_b \rangle \quad (12)$$

et la condition de normalisation

$$\langle a || a \rangle = 1 . \quad (13)$$

Compte tenu de (7) les *transformations de Fourier inverses* s'écrivent avec sommation automatique

$$|x\rangle = |k\rangle \langle k || x \rangle , \quad |k\rangle = |x\rangle \langle x || k \rangle . \quad (14)$$

Le propagateur de *Jordan-Pauli* $\langle x_a || x_b \rangle$, *transformé de Fourier du noyau de Fourier*, étant nul dans « l'ailleurs » la formule

$$\langle x_a || x_b \rangle = \langle x_a || k \rangle \langle k || x_b \rangle = \langle x_a || x \rangle \langle x || x_b \rangle \quad (15)$$

exprime l'orthogonalité de deux propagateurs de Jordan-Pauli. La *solution formelle du problème de Cauchy* est alors, la double barre rappelant la présence de la dérivée normale,

$$|x_b\rangle = |x_a\rangle \langle x_a || x_b \rangle . \quad (16)$$

Dans le 4-espace k des formules analogues valent, exprimant *inter alia* l'orthonormalisation des ondes planes.

L'ensemble de ces formules codifie une *télégraphie par ondes de l'information* entre « bras » de Dirac préparés (émis, codés) et « kets » mesurés (reçus, décodés) ; il *assimile le concept de causalité à celui de corrélation probabiliste*.

Mais la *norme covariante* n'étant *pas* (ne pouvant être) définie positive *ce schème s'éloigne de celui des probabilités classiques*. La densité de présence de Schrödinger $\psi^* \psi$ y est remplacée par la composante temporelle du 4-courant de Gordon $j_1 = -\frac{1}{2} k^{-1} i \psi^* [\partial_1] \psi$ qui (comme le 3-courant de Schrödinger $\mathbf{j} = -\frac{1}{2} k^{-1} i \psi^* [\partial] \psi$) est une *densité de probabilité vectorielle* ;

$\iiint \mathbf{j} \cdot d\mathbf{s} dt$ exprime la *probabilité que la particule traverse l'élément de surface $d\mathbf{s}$ dans le temps dt* ; le signe indéfini vient de ce qu'elle peut le faire dans un sens ou l'autre ; celui de j^4 exprime-t-il alors que « la particule peut remonter le temps » ? non pas, mais *la réciprocité particule-antiparticule*.

7 Transformées de Fourier inverses et égalité de Parseval pour les équations d'ondes à spin.

L'équation de l'onde à spin 1/2 de Dirac a été généralisée au spin 1 par Pe-tiau-Duffin-Kemmer, puis aux valeurs arbitraires du spin par de Broglie²⁰ et par Umezawa-Visconti²¹. Dans tous les cas il existe un projecteur projetant les solutions de l'équation de Klein-Gordon sur l'équation de l'onde à spin.

Utilisant l'équation d'onde et son adjointe en représentation x

$$(\alpha^i \partial_i + k)\psi(x) = 0, \quad \bar{\psi}(x)(-\alpha^i \partial_i + k) = 0, \tag{17}$$

et en représentation k

$$(\alpha^i k_i + ik)\zeta = 0, \quad \bar{\zeta}(\alpha^i k_i + ik) = 0, \tag{18}$$

avec $\bar{\psi} = \psi^* \beta$ and $\bar{\zeta} = \zeta^* \beta$, on récrit l'égalité de Parseval sous la forme

$$\langle a|b \rangle := i \iiint \bar{\psi}_a \alpha^i \psi_b du_i = i \iiint \bar{\zeta}_a \alpha^i \zeta_b \varepsilon(k) dv_i \equiv \iiint \bar{\zeta}_a \zeta_b \varepsilon(k) dv; \tag{19}$$

la barre simple signifie qu'on se réfère à une équation d'onde du premier ordre. L'équation (15) se récrit alors symboliquement

$$\langle a|b \rangle = \langle x_a|x_b \rangle = \langle k_a|k_b \rangle; \tag{20}$$

avec, puisque les courants de Gordon et de Dirac diffèrent par une divergence,

$$\langle a|b \rangle = \langle a||b \rangle. \tag{21}$$

En termes du noyau de Fourier $\langle x|k \rangle$ les formulas inverses de Fourier s'écrivent

$$|x\rangle = |k\rangle\langle k|x\rangle, \quad |k\rangle = |x\rangle\langle x|k\rangle, \quad (22)$$

et le propagateur de Jordan-Pauli

$$\langle x_a|x_b\rangle = \langle x_a|k\rangle\langle k|x_b\rangle. \quad (23)$$

Des formules analogues valent dans le 4-espace k .

La *valeur moyenne de la 4-impulsion* de la particule est h fois l'intégrale du tenseur canonique d'impulsion-énergie T^{ij} :

$$h^{-1}\langle P_i\rangle = -(1/2)k^{-1}i \iiint \bar{\Psi}_a [\partial_i] \alpha^i \psi_b \, du_i = \iiint \varepsilon(k) \bar{\zeta}_a \zeta_b k_i \, dv; \quad (24)$$

notons que la partie antisymétrique du tenseur T^{ij} étant sans divergence l'indice de sommation de l'intégrale en x pourrait être aussi celui de l'opérateur $-i[\partial_i]$; on pourrait aussi utiliser la formule (19) et l'équivalence $-\partial \leftrightarrow k$.

Ceci terminera notre visite guidée des intégrales de Fourier relativistes.

8 Du réel et de sa représentation.

'Représentation mathématique du réel' la théorie physique est devenue probabiliste avec la mécanique statistique et, plus radicalement encore, avec la mécanique quantique. Lewis²³, plus explicitement que Boltzmann ou que Gibbs, a mis en lumière l'aspect subjectif de l'entropie : *un défaut de connaissance et de contrôle* de l'état fin d'un système. Mais la *représentation* par le ψ va beaucoup plus loin.

La connaissance n'est *pas* le simple décalque postulé par la « théorie de la conscience épiphénomène » et l'action libre n'est pas une illusion, ce que prouvent des scénarios faciles à imaginer.

Les classiques avaient noté que « l'appareil de mesure perturbe le système » et contribue donc au résultat mesuré; mais la perturbation restait petite. Rien de tel en mécanique quantique où l'appareil de mesure est macroscopique comme on y insistait dans les années vingt.

Mais 'il y a encore plus grave' : *la décohérence*. Classiquement, si 'une aiguille se perd dans un tas de foin', le phénomène est subjectif, pas objectif; on le théorise en termes probabilistes via un « coarse graining » -et il exemplifie 'l'irréversibilité de fait'.

La décohérence est elle aussi un phénomène subjectif. « L'usage normal de la mécanique quantique » le justifie par une sorte de 'coarse graining' adapté à l'exemple étudié ; divers travaux lui sont présentement consacrés, aboutissant à justifier la forme particulière de «réel empirique⁸» sélectionnée par le dispositif expérimental. Mais *évidemment* ce n'est pas une discussion *très professionnelle* justifiant l'*approximation de calcul* formalisant *comment* les relations de phase sont *en fait* perdues *qui peut établir l'existence d'un réel autoporteur!* Ce genre de travail appartient à ce que Kuhn appelle «science normale»; mais c'est d'un *paradigme* qu'on a besoin!

En fin de chaîne de la mesure il y a le système œil-cerveau du physicien créant une interaction de plus -même si le résultat est enregistré et interprété plus tard. Est-ce que l'ensemble œil-cerveau lisant un thermomètre influe sur la lecture? Pratiquement non bien sûr mais strictement parlant oui. Voilà une question à la Hamlet qu'il faut poser en mécanique quantique.

Un *leitmotiv* de l'École de Copenhague dit «Le ψ est collapsé par la prise de conscience du résultat de la mesure»; London et Bauer²³ notamment l'ont expliqué en détail. Cela fait bondir Jaynes¹²: « Voilà un désordre psychiatrique, une forme d'arrogance, comme si vous ou moi prétendions contrôler le monde par psychokinèse ».

En stricte orthodoxie bayésienne, pourtant, c'est bien *la prise de connaissance d'une nouvelle donnée qui réactualise l'information*. Si le ψ 'encode' la connaissance qu'on a d'un système ne suit-il pas qu'une nouvelle mesure amène à réévaluer son expression? Au delà de ce «voile» il y aurait⁸ un «réel lointain» comme si, dans un défilé de haute couture, on ne voyait des mannequins que leurs robes successives.

Ce n'est pas si simple: *le ψ est un signal télégraphique* interconnectant pré- et rétro-parations; il est *intersubjectif*, et *toute la phénoménologie de la non-séparabilité y est impliquée*. Il y a un *au-delà du réel empirique* relevant, je le pense, de ce qu'on appelle «le paranormal». C'est cet au-delà qu'écarte la décohérence.

Jaynes a donc raison de soulever la question de la psychokinèse, mais tort de l'écarter d'un revers de main. Un test est possible.

9 Corrélation EPR plus psychokinèse.

En 1953 Louis de Broglie présenta aux Comptes Rendus mon explication²⁴ de la corrélation EPR par la rétrocausation. D'autres^{7,25,26,27,28,29,30} ont proposé ensuite la même idée, dont Cramer³⁰ a exposé une version élaborée. Mais une timidité générale paralyse l'exécution du test-clé: *prouver à la Jahn¹⁶ la réciprocité connaissance-psychokinèse postulée par la formule de Bayes.*

Soit un faisceau laser de faible intensité divisé par une lame semi-transparente, idéalement $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$. Sur chaque demi-faisceau sera inséré un photodétecteur, en A et en C. *Il s'agit bien d'une corrélation EPR, car au séparateur B chaque photon « opte » selon la prescription de Born-Jordan.*

« L'agent » opérant en A biaisera, en plus ou moins, la *probabilité a priori finale* ; la fréquence statistique mesurée en C sera *corrélativement* biaisée, en moins ou plus. Si la séparation AC est du genre espace il y aura *télégraphie supralumineuse* -ou *rétrotélégraphie* si elle est du genre temps passé.

Notons que *la psychocinèse est essentiellement rétropsychocinèse* ; par exemple l'action sur un dé en vol opère avant l'affichage du résultat ; c'est la *cause finale* d'Aristote. La rétropsychocinèse a été testée notamment par Schmidt et discutée in *Phys. Rev.* par Stapp³² -sur un exemple moins topique que celui-ci.

10 Conclusion.

En 1927, au 5^{ème} Conseil Solvay, Einstein objecta ceci aux champions de «la nouvelle mécanique quantique» : *postuler que l'occurrence aléatoire survient à la détection implique la possibilité d'une télégraphie supralumineuse* contraire au bon sens et au *postulat relativiste*. Son exemple préfigurait la corrélation EPR : une onde matérielle était diffractée par une petite ouverture et le corpuscule qu'elle portait était reçu par un film photographique ; comment justifier la *corrélation* «grain noirci en A, grain non-noirci en C» ? «Aucun problème» disait Einstein si l'occurrence a lieu dans l'ouverture, avant la détection ou non-détection ; mais 'paradoxe' avec le nouveau paradigme.

Il est surprenant qu'Einstein, ce grand expert en mécanique statistique, ait oublié ce jour-là l'objection de réversibilité faite à Boltzmann par Loschmidt –et aussi la formalisation de l'irréversibilité physique proposée en 1911 par van der Waals³³ via la formule de Bayes. Car la formule de corrélation quantique est *non-ambiguë* ; étant de type *superposition* (pas mélange) elle *exclut* que la corrélation ait été scellée dans l'ouverture -et elle la *formalise* comme une *télégraphiée aller-retour* le long du zigzag ABC ou CBA.

Shimony³⁴, suivi par d'autres, argue que «la corrélation EPR ne permet pas la télégraphie supra-lumineuse parce qu'elle établit entre les détections distantes non pas une *action* mais une *passion à distance*» ; répondant semble-t-il à l'Einstein du Conseil Solvay il énonce «qu'entre relativité et quanta il y a coexistence pacifique».

C'est faire fi de la réversibilité hermitienne, de la CPT invariance, et de l'argument de symétrie de Wigner. Il y a réciprocity de droit entre connaissance et psychokinèse même si la petitesse de κ dit qu'en fait l'une est normale et l'autre paranormale.

Références.

- [1] L. de Broglie,
- [2] L. de Broglie, *L'électron magnétique*, Hermann, Paris (1934), p. 301-306..
- [3] M. Riesz, in *Actes du 10^{ème} Congrès des Mathématiciens Scandinaves*, Copenhague 1946, p. 123.
- [4] F.J. Dyson, *Phys. Rev.* 75, 486 (1949).
- [5] P.A.M. Dirac, *The principles of quantum mechanics*, 3rd ed., Clarendon Press, Oxford 1947.
- [6] R.P. Feynman, *Phys. Rev.* 76, 749 et 769 (1949).
- [7] D. J. Hoekzema, *Found. Phys.* 22, 467, 487 (1992).
- [8] B. d'Espagnat, *Veiled Reality*, Addison Wesley, New York 1995.
- [9] W.A. Miller et J.A. Wheeler, Delayed choice experiments in *Foundations of quantum mechanics in the light of new technology* S. Kamefuchi et al. eds. *Phys. Soc. Japan Tokyo* 1983 p. 140.
- [10] H. Mehlberg, Physical laws and the time arrow in *Current issues in the philosophy of science*, H. Feigl et G. Maxwell eds., Holt, Rinehart, Wilson New York 1961 p. 195.
- [11] O. Costa de Beauregard, Intersubjectivity, relativistic covariance and conditional in *Maximum entropy and Bayesian methods*, A. Mohammad Djafari et G. Dement eds, Kluwer Dordrecht 1993, p. 9.
- [12] E.T. Jaynes, Clearing up mysteries in *Maximum entropy and Bayesian methods* J. Skilling ed., Kluwer Dordrecht 1989, p.1.
- [13] J. Eccles, *Proc. Roy. Soc.* 22B 411 (1986).
- [14] R. Descartes, *Correspondance* A. Adam et P. Tannery eds. Vrin Paris 1971-1974; Lettres 302, 452, 525.
- [15] E.P. Wigner, *Symmetries and reflections*, M.I.T. Press Cambridge Mass 1967, p. 184.
- [16] R. Jahn et B. Dunne, Low level psychokinesis in *Bergson and modern thought*, A. Papanicolaou et P.A. Gunther eds. Harwood London 1987 p.271. On the role of consciousness in quantum physical processes in *The concept of probability*, E.I. Bitsakis et C.A. Nicolaides eds. Kluwer Dordrecht 1989 p. 167. The role of consciousness in physical reality in *Bell's theorem, quantum*

theory and conceptions of the universe, M. Kafatos ed. Kluwer Dordrecht 1989 p. 285.

- [17] O. Costa de Beauregard, *Journal de Physique* 15 210 (1954) et 17 872 (1956).
- [18] O. Costa de Beauregard, Lorentz and CPT invariances and the EPR correlations in ref 9 p. 233.
- [19] O. Costa de Beauregard, *Précis de Mécanique quantique relativiste* Dunod Paris 1967.
- [20] L. de Broglie, *Théorie générale des particules à spin* Gauthier Villrs Paris 1943.
- [21] H. Umezawa et A. Visconti, *Nuclear Physics* 1 20 (1956).
- [22] G.N. Lewis, *Science* 71 570 (1930).
- [23] F. London et E. Bauer, *La théorie de l'observation en mécanique quantique*, Hermann Paris 1939.
- [24] O. Costa de Beauregard, *C. R. Acad. Sci.* 236 1632 (1953).
- [25] H. P. Stapp, *Nuovo Cim.* 29B 270 (1975).
- [26] W.C. Davidon, *Nuovo Cim.* 36B 34 (1976).
- [27] K.V. Roberts, *Proc. Roy. Soc.* A360 135 (1978).
- [28] R.I. Sutherland, *Nuovo Cim.* 88B 114 (1985) ; *Intern. J. Theor. Phys.* 32 377 (1983).
- [29] J.G. Cramer, *Rev. Mod. Phys.* 58 847 (1986).
- [30] N. Hokkyo, *Found. Phys. Lett.* 1 293 (1988) ; 2 295 (1989).
- [31] D.J. Miller in *New Developments in Quantum Physics*, M. Ferrero and A. van der Merwe eds Kluwer Dordrecht 1997 p. 259.
- [32] H. P. Stapp, *Phys. Rev. A* 60 18 (1994).
- [33] J.D. van der Waals, *Phys. Zeits.* 12 547 (1911).
- [34] A. Shimony, Controllable and uncontrollable non locality in ref 9 p. 225.

(Manuscrit reçu le 15 décembre 2000)