

## Non séparabilité et rétrocausation

OLIVIER. COSTA DE BEAUREGARD

Annales de la Fondation Louis de Broglie  
23, rue Marsoulan, F-75012 Paris, France

RÉSUMÉ. On argue que la non-localité quantique manifestée dans les corrélations du genre espace est lue sur les formules comme une télégraphie zigzagante d'information. Les termes interférentiels de Born promeuvent à la fois un « calcul ondulatoire des probabilités » et une « télégraphie ondulatoire de l'information ». Les réversibilités jointes de la *propagation de l'onde* et de la *corrélation* entre préparations et mesures vient d'être à nouveau vérifiée par Stefanov à Genève. On s'étonne qu'Einstein, dont les règles de calcul pour le photon anticipaient celles du dualisme onde-particule de L. de Broglie et de M. Born, n'ait pas proposé cette lecture relativiste des *corrélations*.

ABSTRACT. We argue that the quantum non-locality displayed in space-like correlations is expressed by the formulas as a zigzagging telegraphing of information. Born's interference terms promote together a "wavelike probability calculus" and a "wave telegraphing of information". The twin reversibilities of *wave propagation* and of *statistical correlation* between pre- and retro-preparations has been once more tested by Stefanov in Geneva. It is surprising that Einstein, whose computation rules for the photon anticipated de Broglie's and Born's for the wave-particle dualism, did not put forward such a relativistic reading of the *correlations*.

Pointée du doigt par Einstein [1] au Conseil Solvay de 1927 en termes d'une expérience pensée, puis rediscutée par maints auteurs, la *non-séparabilité quantique* est un des beaux *paradoxes* de l'histoire de la physique. Un paradoxe, au sens étymologique, est « un énoncé surprenant mais peut-être vrai », comme le fut en son temps le *principe d'inertie*.

Énoncée en 1926 par Born [2] suivi de Jordan [3], l'*interprétation statistique du dualisme onde-particule* formalise un tout nouveau *calcul ondulatoire*

*des probabilités* ou la phénoménologie interférentielle se donne libre cours. Dans la *cybernétique ondulatoire* ainsi proposée l'*information* (organisation au codage, connaissance au décodage) est télégraphiée[4] réversiblement entre préparations et mesures. Alors les corrélations à distance du genre espace devenues en 1936 corrélations EPR [5] affichent une *télégraphie zigzagante d'information et de causation*; les deux concepts s'impliquent mutuellement si la probabilité est postulée essentielle.

L'*interprétation statistique de la mécanique ondulatoire* associe manifestement les deux réversibilités de la *propagation de l'onde* et de l'*échange prédiction-rétrodition*, l'onde retardée servant à la prédiction et l'onde avancée à la rétrodition.

En 1953 j'arguai [6] que, lue directement sur l'*expérience pensée d'Einstein*, la *corrélation du genre espace* consistant en l'*alternative détection en A ou B de la particule occupant une onde issue de O* est télégraphiée aller-retour via le zigzag AOB ou BOA. La *non-localité géométrique* illustrant la *non-séparabilité algébrique* ressemble alors à un « jeu de dés d'Alice au Pays des Merveilles », car les deux dés ne sont pas *corrélés* « lorsqu'agités ensemble dans le cornet » mais « lors de leurs arrêts sur la table ». C'est entre ces deux *détections* qu'est propagée l'*interférence* selon Born. Mais le venin du « paradoxe rétrocausal » est quelque peu atténué, s'étant déjà fait sentir en ce qu'*une cybernétique ondulatoire ne peut formaliser un réalisme fort au sens ancien*.

Il est vraiment *surprenant* qu'en 1927 Einstein ait opposé aux auteurs de la *Nouvelle Mécanique Quantique* un *paradoxe* issu de règles de calcul équivalentes à celles qu'il avait lui-même [7] utilisées en 1905 pour le photon, *et ce dans un contexte relativiste*. Faisant fi de la réversibilité des formules, il supposait aller de soi que la causalité opère du passé vers le futur -ce que feront aussi après lui un Bell [8] ou un Shimony [9]. Comment l'expert qu'il était en mécanique statistique pouvait-il 'ignorer' l'objection de réversibilité faite à Boltzmann par Loschmidt, et la réplique de Boltzmann assimilant l'irréversibilité physique à une *jurisprudence* plutôt qu'à un *droit* -ce sur quoi reviendra Mehlberg [10].

En calcul classique des probabilités l'inversion bayésienne implique une *symétrie passé-futur* pour une corrélation du type temporel. L'*irréversibilité de fait* s'exprime alors en *pondérant les probabilités a priori*, initiale et finale; ce problème était dit « *de la probabilité des causes* ». C'est en ces termes que van der Waals [11] formalisera la réponse de Boltzmann à Loschmidt.

*Tout cela, Einstein le savait fort bien*, et cela d'autant plus que sa formule [12] de l'*émission stimulée* contient symétriquement les nombres

d'occupation initial et final. Comment alors se fait-il qu'en 1927 il n'ait pas énoncé son expérience pensée au moyen des propagateurs relativistes ? *La réponse est certainement psychologique : une croyance indiscutée en la causalité retardée.*

*C'est ce préjugé qu'on récuse ici. On argue que la mécanique ondulatoire, avec son interprétation statistique, renouvelle la perspective, et ce dès l'abord, en associant la réversibilité de la propagation de l'onde à celle de l'inversion de la probabilité.*

Revoyons alors en termes de propagateurs relativistes le *paradoxe* d'Einstein, dans la version proposée par Heisenberg [13] en 1928.

Heisenberg met le *paradoxe* en forme apparentée à l'effet Hanbury Brown-Twiss. Soit un faisceau laser de faible intensité divisé  $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$  par un séparateur, les photons étant comptés un à un. *Ce n'est pas en O sur la lame qu'a lieu l'occurrence aléatoire mais aux comptages en A et B, parce que c'est par l'optique ondulatoire que se calculent les intensités transmises et réfléchies; en O a lieu une interférence.* Le double coup de dés est donc rétro-télégraphié vers la lame.

*L'objection d'Einstein était donc triplement infondée : 1° Il s'y renie lui-même; 2° la symétrie de droit passé-futur est méconnue; 3° la relativité n'est pas violée.*

Soulignons l'étroite parenté entre l'effet Hanbury Brown-Twiss et la corrélation EPR. Il y a dans les deux cas *corrélation du genre espace formalisée par la statistique quantique.* Les deux phénomènes sont expérimentalement avérés, et ce *sur des distances macroscopiques.*

*Mais point n'est besoin d'aller chercher si loin, car un phénomène astronomique banal illustre la rétro-diction statistique via l'onde avancée.* Le photon noircissant un grain d'un cliché *ne provient pas du point-objet figuré par ce point-image; il surgit à la détection,* de la superposition d'ondes issues des multiples sources photographiées. *C'est un phénomène de rétrocohérence.*

Les classiques invoquaient souvent un *principe de retour optique inverse* tenu pour *légal* bien que non contrôlable. Hé bien, *le retour optique inverse est du dernier banal en optique quantique.*

Après ma proposition de 1953 de nombreux auteurs ont prôné la rétrocausation via l'onde avancée, notamment Cramer [14] dans son *Interprétation transactionnelle de la mécanique quantique.*

*En mécanique quantique relativiste* la matrice S, illustrée par le graphe de Feynman, formalise [15,16] en termes Lorentz et CPT invariants une *corrélation de N préparations et mesures.* La *probabilité de transition*  $(\phi|\psi) \equiv$

$|\langle\phi|\psi\rangle|^2$  entre un *état préparé*  $\langle\phi|$  et un *état mesuré*  $|\psi\rangle$  s'entend en prédiction ou en rétro-diction. L'*amplitude de corrélation réversible hermitienne*,  $\langle\phi|\psi\rangle = \langle\psi|\phi\rangle^*$ , exprime l'*interférence* d'une *onde divergente préparée*  $\langle\phi|$  et d'une *onde convergente mesurée*  $|\psi\rangle$  -*rétropréparée* dira Hoekzema [17]. Par exemple, si un photon *transite* entre deux polariseurs linéaires d'angle mutuel  $V = B - A$ , la *probabilité de corrélation* vaut  $\cos^2 V$ . S'il y a un enchaînement de *transitions*, la *formule de composition topologiquement invariante*  $\langle\phi|\psi\rangle = \sum \langle\phi|\zeta\rangle \langle\zeta|\psi\rangle$  s'applique.

Dans une *corrélation EPR* l'*amplitude* s'écrit donc  $\langle A|B\rangle = \sum \langle A|O\rangle \langle O|B\rangle$ ; dans la corrélation EPRB » (B pour Bohm) les *états mesurés* A et B sont des polarisations linéaires de photons.

On va *réfuser* à ce propos deux *assertions récurrentes*. Puisque les deux *questions* posées en A et B sont *indépendantes* et *arbitraires* il est *certainement faux* d'énoncer « une mesure de l'état  $\langle A|$  fixe instantanément à distance l'état  $|B\rangle$  »: *c'est oublier les deux conditionnels* en A et B. Les *probabilités jointes* des quatre paires de réponses possibles ont (1 notant *oui* et 0 *non*) les valeurs avérées  $(1|1) = (0|0) = \frac{1}{2} \cos^2 V$  et  $(1|0) = (0|1) = \frac{1}{2} \sin^2 V$  (où le contraire avec un autre type de « cascade »).

L'autre *assertion* invalide est « Deux particules issues d'une même préparation forment un seul système »; cela avait un sens en mécanique non relativiste de Schroedinger, qui formalisait un système de N particules par une équation à 3N variables. Mais l'algorithme relativiste adéquat est [15,16] la matrice S, dont le *graphe* figure la « toile » du télégraphe.

Einstein, refusant l'idée que « Dieu joue aux dés », n'envisagea pas une explication de ce type; Shimony, Bell, d'autres, non plus. Mais les expériences à double décision différée d'Aspect [18] et de Gisin [19] montrent à l'évidence qu'une mesure est bel et bien une *rétropréparation*. Récemment Suarez [20] a avancé l'hypothèse *ad hoc* dite de la « multisimultanéité », qui contredisait à la fois la relativité et les quanta ! Elle a été réfutée par une expérience de Stefanov [21].

Qu'a donc de si révoltant l'idée de la rétrocausation, acceptée par les Euler, Bayes, Loschmidt ? Revêtue en mécanique quantique d'un uniforme *interférentiel*, elle y opère sur des *intervalles d'espace ou de temps* macroscopiques [22].

Interprétée alors [4] comme une *télégraphie ondulatoire d'information*, la physique des quanta est, selon Wigner [23], une *psychophysique*. Les nouveaux « conquistadors » devront donc s'habituer à la vue « d'étoiles nouvelles surgies d'un ciel ignoré ».

Psychocinèse et télégraphie supralumineuse. La formule d'inversion de Bayes suggère l'existence d'une *réciprocité psychocinèse-acquisition de connaissance*. Que l'une soit *normale* et l'autre *paranormale* relève alors de la jurisprudence, non du droit. En physique, on est ramené à *un choix d'unités pratiques*.

L'unité d'information, le *bit*, est adaptée à la logique binaire. L'unité thermique d'entropie, disons le *clausius*, dérive historiquement d'une définition de l'unité de température via l'équation des gaz parfaits  $pV = RT$ . *En fait* la constante  $R$  est un nombre petit (les classiques auraient pu poser  $R=1$  *par définition* de la température lue sur un thermomètre à gaz parfait). Or,  $N$  notant le nombre d'Avogadro et  $k$  la constante de Boltzmann, on a  $R/N = k$ , où  $k \log 2$  est le facteur échangeant *information*  $I$  et *néguentropie*  $N_e$  via  $N_e/I = k \log 2$ . De fait, «  $k$  est très petit parce que les molécules sont très petites »; c'est ainsi que pour nous « la connaissance est très bon marché mais l'organisation hors de prix ». Autrement dit, « *la connaissance est normale et la psychocinèse paranormale* ».

H. Schmidt, R. Jahn ont testé la psychocinèse comme *un phénomène petit mais répétable*, Jahn [24] a relaté ses travaux dans des Congrès Internationaux.

Une expérience «EPR plus PK» via la version de Heisenberg de l'expérience pensée d'Einstein serait très significative. Deux photocompteurs recevant les faisceaux séparés à partir d'un faisceau laser seraient l'un passif, l'autre «traité par un agent». On prévoit que si «l'agent» augmente ou diminue «à volonté» le flux de photons sur «son» faisceau le flux sur l'autre faisceau sera diminué ou augmenté d'autant -une *télégraphie supra-lumineuse*. Ce serait même une «rétro-télégraphie» si «le faisceau observé» est replié par une fibre optique.

En bref, l'interprétation ici proposée de la *mécanique quantique relativiste* consiste en *la lecture littérale de ses équations*.

## Références

- [1] A. Einstein, in *Electrons et Photons, Rapports et Discussionsz du Cinquième Conseil Solvay*, Gauthier Villars, Paris 1928, p. 253-256.
- [2] M. Born, *Zeits. Phys.* 38, 1926, 803.
- [3] P. Jordan, *Zeits. Phys.* 40, 1926, 809.
- [4] O. Costa de Beauregard, *Found. Phys.* 31, 2001, 837.
- [5] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Phys. Rev.* 47, 1935, 777.
- [6] O. Costa de Beauregard, *C. R. Acad. Sci.* 236, 1953, 1632.
- [7] A. Einstein, *Ann. Phys.* 17, 1905, 32.

- [8] J. S. Bell, *Physics* 1, 1964, 195.
- [9] A. Shimony, in *Proc. Intern. Symp. Foundations of Quantum Mechanics*, S. Kamefuchi et al. eds, Phys. Soc. Japan, Tokyo, 1984, 225.
- [10] H. Mehlberg, in *Current Issues in the Philosophy of Science*, H. Feigl et G. Maxwell eds, 1961, 105.
- [11] J.D. van der Waals, *Phys. Zeits.* 12, 1911, 547.
- [12] A. Einstein, *Abhand. Deutsch Phys. Gesell.* 18, 1916, 318.
- [13] W. Heisenberg, *Zeits. Phys.* 43, 1927, 621.
- [14] J. G. Cramer, *Rev. Mod. Phys.* 58, 1986, 647.
- [15] O. Costa de Beauregard, *Phys. Rev. Lett.* 50, 1983, 867; also in
- [16] O. Costa de Beauregard, in ref. 9, 233.
- [17] D. Hoekzema, *Found. Phys.* 22, 1992, 467 et 487.
- [18] A. Aspect, P. Grangier, R. Roger, *Phys. Rev. Lett.* 49, 1982, 1804.
- [19] W Tittel, J. Brendel, H. Zbinden, N. Gisin, *Phys. Rev. Lett.* 81, 1998, 3563.
- [20] A. Suarez, *Phys. Lett. A* 269, 2000, 293.
- [21] A. Stefanov et al., *Phys. Rev. Lett.* 88, 2002, 120404.
- [22] W. A. Miller and J.A. Wheeler, in ref 9, 140.
- [23] E. P. Wigner, *Symmetries and Reflections*, M.I.T. Press 1967; Remarks on the mind body problem, p.181-184.
- [24] R. Jahn et B. Dunne, in *Bergson and Modern Thought*, A. Papanicolaou et P.A. Gunter eds, Harwood London, 1987, 271; in *The Concept of Probability*, E. I. Bitsakis and P.A. Nicolaidis eds, Kluwer Dordrecht 1909, 167; in *Bell's Theorem, Quantum Theory and Conceptions of the Universe*, M. Kafatos ed, Kluwer, Dordrecht, 1989, 238.

*Reçu le 14 octobre 2003.*