

PHILOSOPHIA SCIENTIÆ

OLIVIER COSTA DE BEAUREGARD
Formalisation et intelligibilité en physique

Philosophia Scientiæ, tome 1, n° S1 (1996), p. 127-143

http://www.numdam.org/item?id=PHSC_1996__1_S1_127_0

© Éditions Kimé, 1996, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Philosophia Scientiæ* » (<http://poincare.univ-nancy2.fr/PhilosophiaScientiæ/>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

Formalisation et intelligibilité en physique

Olivier Costa de Beauregard
Institut Henri-Poincaré, Paris

« Les paradoxes d'aujourd'hui sont les préjugés de demain. » (Proust)

1. Introduction

Je dédie à l'illustre mémoire de Poincaré une version repensée de l'exposé que Craig Dilworth m'avait demandé en 1988 pour l'ouvrage collectif *Intelligibility in Science*.¹ Dilworth avait argué que l'explication génératrice d'intelligibilité exprime la transition de la loi à la théorie. J'arguerai ici, sur des exemples tirés de la Physique d'aujourd'hui, qu'elle commente l'expansion d'une recette mathématique *ad hoc* en une élaboration mathématique dévoilant « le sens profond des écritures ».

Il peut arriver qu'exprimée dans le discours approprié la nouvelle vue du monde inflige de rudes affronts aux habitudes de pensée codifiées dans le précédent paradigme, et acceptées dans un « sens commun ». Une intelligibilité plus distante et plus hautaine s'empare du pouvoir.

La « révolution copernicienne » est un bel exemple de changement de paradigme selon Duhem ou Kuhn. Copernic, se réclamant d'Aristarque, substitue à la Terre comme référentiel de l'espace un système d'axes centré sur le Soleil, perçant la voûte sidérale dans des directions fixes ; c'est le repère inertiel lié au centre de gravité du système solaire, comme on le comprit plus tard. Merveilleusement simplificatrice, cette « recette mathématique » permet à Kepler la découverte des trois lois, puis à Newton celle de la théorie de la gravitation.

Entre temps la révolution galiléenne annonce la révolution relativiste : le principe d'inertie ou de relativité restreinte [restreinte aux translations uniformes] s'oppose au principe de relativité cinématique accepté par le tribunal ecclésiastique. C'est en 1851 seulement que la voûte du Panthéon de Paris devient transparente à la voûte sidérale grâce au pendule de Foucault.

La seconde révolution relativiste conclut la longue et vaine traque au vent d'éther inscrite entre les « expériences négatives » d'Arago (1818) et de Michelson (1887). Deux recettes *ad hoc* furent

¹ [Dilworth 1992].

avancées : entraînement de l'éther de Fresnel, contraction des solides de Fitzgerald. La première formule, Hadamard² le montre en 1930, est le générateur du groupe de composition des vitesses d'Einstein ; auparavant Lorentz et Poincaré avaient interprété la seconde formule comme générateur du « groupe » qui porte leurs noms.

De la trigonométrie hyperbolique, impliquée dans l'une et l'autre recettes, Poincaré tire en passant le concept de l'espace-temps dont Minkowski fera avec solennité le nouveau paradigme : une géométrie pseudo-euclidienne où la matière est représentée comme quadridimensionnellement étendue. Les deux locutions *à la fois et en même temps* n'y sont plus synonymes ; les mots *exister* et *maintenant* ont des significations dissociées.

Alors que le mouvement relatif de Galilée transformait le temps (absolu) en espace parcouru, celui de Lorentz et Poincaré transforme symétriquement l'espace parcouru en temps moins-vécu. C'est ce qu'illustre le « paradoxe des jumeaux » vérifié en vraie grandeur en 1971 au moyen de chronomètres atomiques embarqués dans des avions long-courriers [le « moins vécu » résulte du signe moins devant le carré temporel : un arc de trajectoire de l'espace-temps est plus court que la corde].

C'est l'énormité en unités pratiques du coefficient de mutuelle conversion de l'espace en temps — la vitesse de la lumière dans le vide — qui avait occulté, jusque vers 1900, la relativité du temps.

2. Réversibilité statistique

Selon le principe de Bayes-Laplace la *probabilité jointe* de deux occurrences non indépendantes A et C égale le produit de la *probabilité conditionnelle* de A si C par la *probabilité a priori* de C, ou *inversement* celui de la *probabilité conditionnelle* de C si A par la *probabilité a priori* de A.

Une mutuelle dépendance ou *corrélation* entre *occurrences physiques* s'appelle *interaction* ; la *probabilité jointe* formalise alors cette *interaction*. Suivant que la corrélation est du *genre espace* ou du *genre temps*, la réversibilité de la probabilité jointe exprime *l'égalité de l'action et de la réaction* ou la *réversibilité cause-effet*.

² [Hadamard 1930], tome 2, page 335.

De toute façon, *s'agissant d'occurrences physiques, la probabilité jointe est l'expression de la causalité.*

Donc, la symétrie exprimée dans l'épithète même de « jointe » implique une symétrie entre « cause efficiente » et « cause finale » — celle même qu'en 1744 Euler énonce comme impliquée dans son *calcul des variations*.

C'est donc en assignant des valeurs inégales aux probabilités a priori, l'initiale et la finale, que le calcul des probabilités formalisera l'irréversibilité physique. Chacun à sa manière Boltzmann³ et Gibbs⁴ ont énoncé cette importante remarque. La recette de calcul est analogue à celle qui sélectionne à la demande solution retardée ou solution avancée d'une équation d'onde. Ultérieurement, la mécanique quantique associera respectivement l'onde retardée à la prédiction et l'onde avancée à la rétrodition statistiques.

Il y a donc pétition de principe à dire (comme on l'entend souvent) que « l'irréversibilité physique *s'explique* par une tendance à croître de la probabilité » ; en fait elle *s'exprime* ainsi.

« Pré-sélection et post-sélection de sous-ensembles statistiques » est un parler reçu exprimant en termes fréquentiels le précédent mode d'emploi. Plus brièvement, Hoekzema⁵ dit de la transition quantique qu'elle mène d'une « préparation » et une « rétropréparation » ; c'est le fait d'isoler *une* épreuve qui l'entraîne vers le subjectif. *Préparer* un état quantique, c'est émettre une onde divergente ; en *rétropréparer* un, c'est idéalement absorber une onde convergente, ce que les classiques appelaient « retour optique inverse ».

Accoster à la rive subjective, c'est assimiler *pré-sélection* à *prédiction*, *post-sélection* à *rétrodition*. Je dirai, en échangeant les termes dont use Ruyer⁶, que c'est accoler un « envers » subjectif à « l'endroit » objectif de l'irréversibilité physique.

³ [Boltzmann 1896 / 98], tome 2.

⁴ [Gibbs 1902], page 150.

⁵ [Hoekzema 1992], pages 467 et 487.

⁶ [Ruyer 1954].

Sur tout ceci l'on reviendra. Quoi qu'il en soit, le « *paradoxe* » opposé par Loschmidt à Boltzmann en 1876 aurait pu être énoncé au niveau plus radical du calcul des probabilités lui-même, comme van der Waals⁷ l'expliquera en 1911.

3. Equivalence néguentropie-information

Il est clair aujourd'hui que le concept *d'information* était implicite chez les pères fondateurs du calcul des probabilités, et à nouveau chez ceux de la mécanique statistique. Chez Boltzmann l'entropie est manifestement une *information manquante*, une *connaissance* et un *contrôle imparfaits* d'une situation trop distante.

Shannon⁸ formalise en 1948 *l'information* comme *néguentropie*. Dès 1930 Lewis⁹, suivi plus tard par Grad¹⁰ et Jaynes¹¹, *identifie opérationnellement* l'entropie physique à un défaut d'information.

Pour comprendre ceci revenons en arrière. Dans son *Calcul des Probabilités* de 1888 Bertrand¹² demande quelle est la probabilité qu'une corde tracée au hasard dans un cercle soit plus longue que le côté du triangle équilatéral inscrit, et propose trois procédures pour ce tracé : 1° Choisir au hasard un point sur le cercle, puis la direction de la corde. 2° Choisir la direction de la corde, puis le point où elle coupera le diamètre perpendiculaire. 3° Piquer un point dans le cercle, qui sera le milieu de la corde. Du « principe d'indifférence », et de propriétés géométriques connues, il déduit alors trois valeurs différentes : $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$.

Qu'est-ce à dire sinon ceci : l'estimation d'une probabilité dépend de ce qu'on choisit de savoir ou d'ignorer, de contrôler ou ne pas contrôler. Connaissance et contrôle, l'avèrs et le revers de la

⁷ [van der Waals 1911], page 547.

⁸ [Shannon 1948], page 623.

⁹ [Lewis 1930], page 570.

¹⁰ [Grad 1961], page 323.

¹¹ [Jaynes 1983].

¹² [Bertrand 1888], page 4.

médaille information, déjà connus de quelques philosophes, sont retrouvés comme tels par la cybernétique.

Grad argue que « l'estimation d'une entropie change si un nouvel élément du problème est pris en compte, même seulement dans l'esprit du physicien », et Jaynes que « cette estimation dépend de ce que vous ou moi aurons décidé de mesurer ». Qu'ainsi l'entropie de Clausius ne soit plus « une grandeur physique objective », mais qu'elle soit en un sens relative, voilà qui n'est pas moins « renversant » que le fut l'héliocentrisme.

Pour Lewis, « en tant que défaut d'information l'entropie est une grandeur subjective » ; pour Poincaré, dans Science et méthode, « il faut bien que le hasard soit autre chose que le nom que nous donnons à notre ignorance ». Lewis méconnaît mais Poincaré soupçonne que la face cachée de l'information est un pouvoir d'organisation.

Le concept de probabilité n'est donc ni objectif ni subjectif étant indissolublement les deux. Il est charnière entre réel et représentation.

4. Réversibilité néguentropie-information

« Codage-traitement-décodage » est le rituel informatique, allant du concept au concept à travers une « néguentropie algorithmique ». Toute la procédure est de droit réversible : « une computation réversible peut être indéfiniment poursuivie ». Impossible à exclure *en fait* l'irréversibilité s'insinue pourtant comme erreurs de codage et de décodage et comme bruit sur la ligne. *Mais l'intéressant reste le droit.*

La transition néguentropie-information est de droit réversible : l'information-connaissance tirée d'un décodage et l'information-organisation investie dans un codage sont symétriques. Wigner¹³ conclut lui aussi d'arguments de symétrie « qu'il doit exister une action directe de l'esprit sur la matière ». Voyons cela.

Avant la révolution cybernétique le problème de l'information-connaissance était traité par prétérition. La cybernétique, dit Gabor, a révélé « qu'on ne peut rien avoir pour

¹³ [Wigner 1967].

rien, pas même une observation » ; c'est l'énormité du coefficient de conversion entre « bit » et unité thermodynamique qui avait occulté le phénomène.

Inversement, en deçà du *parasitage de la cascade entropique universelle* pratiquée par les « systèmes créateurs d'ordre évoluant loin de l'équilibre », de discrètes psychokinèses à la Wigner *doivent* avoir lieu. Eccles¹⁴, expériences à l'appui, les voit à l'origine de l'acte volontaire humain ; Descartes, dans sa lettre à Arnauld du 29 juillet 1648, les déclarait certifiées par l'introspection : « l'âme meut le corps tout autrement qu'un corps meut un autre corps ». Nombreux sont les penseurs — Bergson, Ruyer, Cuénot¹⁵, Fantappié¹⁶, pour ne citer qu'eux — suggérant ce type de jeu en ontogénèse ou phylogénèse biologiques.

Il y aurait donc forte inhibition plutôt qu'exclusion stricte des actions avancées et des causes finales. *L'irréversibilité de fait* s'exprime alors dans la disparité des unités pratiques de néguentropie et d'information, révélatrice de nôtre situation existentielle. Le « taux du change » favorise à tel point la conversion de la néguentropie en information qu'il fait aisément oublier le coût négentropique de l'information : beaucoup de prospectus vont droit au panier, tandis que le prix d'un objet manufacturé rétribue surtout la peine que requiert son obtention. Exigeant de la conscience spectatrice un ticket d'entrée fort modique la cybernétique accorde à la conscience actrice un cachet exorbitant. « Beaucoup de spectateurs pour peu d'acteurs », voilà une expression de plus de « l'irréversibilité de fait ».

5. Probabilité et covariance relativiste

Comment n'y a-t-il pas incompatibilité entre le « tout est écrit » relativiste et la contingence probabiliste ? Le fait est pourtant qu'existent des formalismes quadridimensionnels parfaitement opérationnels de mécanique statistique et de théorie quantique des champs. Le fil d'Ariane issu de leur « recette mathématique » doit donc conduire à une ouverture de lumière.

¹⁴ [Eccles 1986], page 411.

¹⁵ [Cuénot 1941].

¹⁶ [Fantappié 1993].

Le problème ne serait pas grave si suffisait encore l'idée de la « probabilité gérant au mieux une connaissance incomplète » ; c'était l'idée des « variables cachées », voire des « variables négligées » prônée par Paul Lévy¹⁷ dans son *Calcul des Probabilités* de 1925. Cette réponse trop facile est disqualifiée par l'inséparabilité des faces *connaissance* et *organisation* de *l'information*. Se voulant « représentation du réel », toute la Physique Mathématique « a un pied dans l'objectif et un pied dans le subjectif ». C'est au sommet de la voûte qu'est la clé d'ogive, *la probabilité*.

Suivons donc le fil d'Ariane. *Dans un univers essentiellement probabiliste la probabilité jointe de deux occurrences A et C exprime leur interaction ou relation causale* ; causalité et probabilité jointe y sont donc synonymes. La nécessité d'une formalisation - et - conceptualisation « manifestement covariante » des probabilités *physiques* s'impose alors. Et d'abord, puisque tous les observateurs d'une même occurrence sont d'accord entre eux, *intersubjectivité* sera le nouveau nom *d'objectivité*, *covariance* son synonyme¹⁸.

Soient alors deux observateurs distants, pouvant être en mouvement relatif ; je dis que le formalisme bayésien des probabilités conditionnelles doit être retouché pour traiter le problème. Par exemple, en 1987, 15 neutrinos issus de l'explosion d'une supernova galactique furent détectés en des laboratoires distants entre eux, pour certains, de milliers de kilomètres. *Deux expressions bayésiennes inverses de l'unique probabilité jointe* des deux détections n'expriment pas *intersubjectivement* la relation causale entre A et C via la source B, et mal le cheminement spatio-temporel des deux inférences réciproques. *Deux des équipes concernées ne sont pas dans une relation de joueurs de poker, mais plutôt dans celle de chercheurs de champignons s'interpellant à travers un bois*. Elles partagent une *information* étendue, acquise au fil des ans, exprimée comme une *théorie des champs* physiques.

On constate alors avec satisfaction que c'est au formalisme existant de la mécanique statistique que mène le fil d'Ariane.

Dire que le nombre de chances joint de deux occurrences est plus petit que le produit de leurs nombres de chances *a priori* est dire

¹⁷ [Lévy 1925], pages 40-44.

¹⁸ [Costa de Beauregard 1993].

qu'existe un nombre compris entre zéro et un qui, multiplié par les derniers, redonne le premier ; appelons le *probabilité conditionnelle intersubjective de A si C ou de C si A*. C'est, en mécanique statistique, la *mutuelle section efficace* de deux molécules ; les *nombre de chances a priori* sont alors dits *nombre d'occupation* (initiale d'un état initial, finale d'un état final). Disons que la *probabilité de transition habillée* est le produit de la *probabilité de transition intrinsèque* par ces deux nombre d'occupation.

La loi de composition des sections efficaces (A|B) est le générateur d'un groupe : $(A|C) = \sum (A|B)(B|C)$. Dans Paris, la probabilité qu'un Parisien ait la hauteur A et le poids C égale la somme des produits des probabilités qu'il ait la hauteur A et le tour de taille B et le tour de taille B et le poids C.

Pensées comme *événements*, les *occurrences aléatoires* « sont là » dans l'espace-temps, comme les Parisiens « sont là » dans leur ville.

Géométriquement covariant, ce schème est aussi topologiquement invariant quant aux déformations des zigzags ABC.

Impliquées dans ce schème sont *l'addition des probabilités partielles* et la *multiplication des probabilités indépendantes*. Les *états intermédiaires* B (figurant dans des sommations) sont classiquement pensés « réels cachés » ; notons que *dans ce paradigme relativiste l'adjectif « intermédiaire » s'entend au sens topologique, sans connotation temporelle*.

6. Non-séparabilité quantique

Vérifié sous de multiples formes, cet aspect du dualisme onde-particule, formalisé dans le calcul des probabilités quantiques de Born et de Jordan, cause depuis 1926 des migraines, tant il est étranger au sens commun.

Born¹⁹ énonce que *l'intensité de l'onde mesure la probabilité de manifestation de la particule*. En physique des ondes tout phénomène préservant la cohérence des phases implique l'addition non des *intensités* mais des *amplitudes* partielles. Sans trop crier gare

¹⁹ [Born 1926], page 803.

Born révoque donc la recette d'additionner les probabilités partielles. La même année Jordan²⁰ substitue la multiplication des amplitudes à celle des probabilités indépendantes. Un schème *d'amplitudes de transition*, codifié dans la symbolique des « bras » et des « kets » de Dirac²¹, transpose alors celui des *probabilités de transition* antérieur, la *symétrie hermitienne* $\langle A|C \rangle = \langle C|A \rangle^*$ remplaçant la symétrie réelle $(A|C) = (C|A)$. Dit « matrice S », ce schème est habillé en 1948 à la mode relativiste par Feynman²².

Que cette « recette mathématique », en plus de ses implications physiques, impose un mode de penser nouveau se voit en commentant sa symétrie. Echanger les symboles A et C dans une amplitude de transition $\langle A|C \rangle$ est une expression du retournement des axes de l'espace-temps, noté PT. L'invariance hermitienne prescrit alors de compléter l'opération en passant au complexe conjugué ce qui (on le montre) formalise l'échange particule-antiparticule, noté C.

Cette « inversion covariante du mouvement » échange préparation et rétropréparation, prédiction et rétrodictioin. La *transition quantique* est alors pensée comme menant d'un système d'ondes divergentes à un système d'ondes convergentes, le « collapse du vecteur d'état » étant conçu comme réversible. *Lorentz-et-CPT-invariance* caractérisent donc la mécanique quantique relativiste, ou, si l'on veut, la *micro-relativité*.

Des vitesses relatives entre les pièces de préparation ou de rétropréparation sont autorisées dans ce schème, *qui sera notre fil d'Ariane pour interpréter la mécanique quantique relativiste*.

C'est dans la formule tirant la probabilité de l'amplitude qu'éclate la crise, discernée par Einstein au Conseil Solvay de 1927.

Fille de *l'intensité* classique, la *probabilité* de Born est le carré de l'amplitude. Dans les carrés des sommes intermédiaires figurent donc des termes croisés, *termes d'interférence à la Fresnel*, *excluant formellement* l'existence d'états « réels cachés ». Ce fait est dit algébriquement *non-séparabilité* et géométriquement *non-localité*.

²⁰ [Jordan 1926], page 809.

²¹ [Dirac 1947].

²² [Feynman 1949], pages 749 et 769.

Géométriquement signifie *spatio-temporellement*. *L'invariance topologique* des zigzags ABC et de leurs concaténations, les « graphes de Feynman », leur irrespect insolent de la flèche du temps, suscite à la respectable *interférence* de Fresnel toute une turbulente descendance. A vrai dire, repensée en termes probabilistes l'interférence de Fresnel laisse déjà songeur, car on ne peut ni rétrodire, ni tester expérimentalement, par quelle fente de Young l'un quelconque des photons reçus est passé. C'est le « paradoxe EPR inverse ».

Le « problème EPR » est posé en 1935 dans un fameux article d'Einstein, Podolsky et Rosen²³. Dans une expérience d'Aspect²⁴ il équivaut au « retour optique inverse » d'une interférence de Fresnel : deux photons « corrélés » issus d'une source commune sont détectés après traversée de polariseurs linéaires. *Bien que corrélés, les états de polarisation détectés ne peuvent pas avoir préexisté dans la source* — ce qu'Aspect prouve en orientant les polariseurs *après* le départ des photons.

L'état existant dans la source n'était donc pas un mélange d'états « réels cachés ».

Que le zigzag ABC canalise physiquement une causalité non fléchée, et temporellement étendue, est prouvé par des expériences où les distances BA et BC sont arbitrairement et indépendamment variées²⁵. Cette preuve ne pourra qu'être renforcée dans des expériences en projet où les temps de détection seront eux aussi mesurés.

L'axe du temps étant imaginé vertical, on vient de commenter la forme V et la forme λ d'un « zigzag de Feynman ». Dans la forme C, ou I, la formule de l'amplitude de transition est la même : dans un faisceau laser traversant successivement deux polariseurs d'angle quelconque « l'état intermédiaire » d'un photon n'est *pas* membre d'un *mélange* d'états de polarisation.

Ici aussi une « expérience à décision différée » est possible : le polariseur de mesure peut être orienté *après* que le photon a quitté la

²³ [Einstein / Podolsky / Rosen 1935], page 777.

²⁴ [Aspect / Grangier / Roger 1982], page 49.

²⁵ [Wilson / Lowe / Butt 1976], page 613.

source. *Rétrocausation* est le vocable *isomorphe* à la formule proposé pour rendre compte de ce phénomène²⁶.

7. Conditionnalité quantique

Une mésinterprétation récurrente de la corrélation EPR est que « mesurer en A la polarisation $|A\rangle$ entraîne en C l'existence de la polarisation $|C\rangle$ strictement associée » [celle parallèle ou perpendiculaire, selon le type de cascade]. Pis que non testable ce discours « contrefactuel » est *contraire au testable* : *non seulement l'on peut actualiser en A et C deux polarisations quelconques, mais c'est ce qu'on fait. Figurant symétriquement dans la formule, aucun des deux états ne peut prétendre « collapser » l'autre.*

$V=A-C$ notant l'angle relatif de deux polariseurs biréfringents, quatre réponses couplées sont possibles, de probabilités jointes $(11)=(00)=(1/2)\cos^2V$ et $(10)=(01)=(1/2)\sin^2V$ [ou le contraire, selon le type de cascade]. Comme les sinus et cosinus carrés contiennent des termes croisés en les sinus et cosinus de A et de C, *trouver en A la polarisation $|A\rangle$ ne signifie pas l'existence en C de la polarisation corrélée.* Ce que dit la formule, c'est que *l'on trouverait certainement cette polarisation si on la mesurait. Mais elle dit aussi qu'on peut en mesurer une autre, et elle donne les probabilités des deux réponses possibles, oui ou non.*

Le monde où nous vivons n'est donc pas réel au sens fort ; il est conditionnel — conditionnel à une information biface.

8. Lorentz-et-Lüders invariance

Au Conseil Solvay de 1927, sur le berceau même de la « nouvelle mécanique quantique, la perspicacité d'Einstein²⁷ discerne le signe des contradictions à venir, et cela *sous la forme d'un conflit relativité-quanta* : si le calcul quantique des probabilités exclut que la corrélation entre mesures distantes révèle un mélange d'états préexistants dans la source, *n'implique-t-il pas l'idée d'une*

²⁶ [Costa de Beauregard 1953], [Stapp 1975], [Roberts 1978], [Rayski 1979], [Costa de Beauregard 1983], [Cramer 1986] et [Hokkyo 1988].

²⁷ [Einstein 1928], page 253.

télégraphie supralumineuse? Sinon d'une « action », au moins d'une « passion à distance », selon le mot de Shimony.

Il le fait si l'invariance relativiste est définie comme Lorentz-invariance respectant la flèche du temps, plus le postulat d'une causalité retardée.

Mais le conflit s'évanouit si l'invariance micro-relativiste est définie comme Lorentz-et-Lüders²⁸ invariance acceptant le retournement des quatre axes. Non fléchée, la causalité réciproque entre occurrences distantes les relie alors physiquement via le relais passé de la source — sans dépasser la vitesse de la lumière mais « en remontant le temps ».

Lorentz-et-Lüders invariance, tel est donc le statut de la mécanique quantique relativiste. La magie de la « matrice S » efface la « coexistence pacifique », ou « guerre froide » négociée à la Shimony. Elle le fait, diraient d'aucuns, au prix de « l'équilibre de la terreur » des actions avancées...

Une petite fable illustrera la Lüders ou CPT-invariance.

Défilé à rebours (renversement du temps, noté T) un film de cinéma ayant enregistré l'action « visser une vis dextrogyre » montrera « dévisser une vis dextrogyre ». Retourné recto-verso (échange droite-gauche noté P) il montrera, en sens normal, « visser une vis lévogyre », et, en sens inverse, « dévisser une vis lévogyre ».

Convenons avec Ziino²⁹ d'appeler « particule » une vis lévogyre, « antiparticule » une vis dextrogyre, « émission » l'acte visser, « absorption » l'acte dévisser. On vient d'expliquer que le retournement PT des quatre axes échange l'émission d'une particule et absorption d'une antiparticule, ou vice versa, une opération notée C. Donc $PT=C$, ou, puisqu'évidemment $C^2=1$, $CPT=1$.

10. Conclusions

- Matière étendue sur un espace-temps déployé en acte ;
- Dualisme onde-particule ;

²⁸ [Lüders 1952], page 325.

²⁹ [Ziino 1989], page 427.

— Causalité probabiliste réversible ;

— Préparation suivie de mesure *conditionnant* toute actualisation ;

— Non-localité interférentielle Lorentz-et-Lüders invariante ;

Tout cela, formalisé synthétiquement dans la *Théorie quantique des champs*, dessine le « paradoxal » paradigme de la physique de ce siècle — celui dit *Cette étrange matière* par Alfred Kastler³⁰.

Nul physicien n'ignore que son paradigme a des implications très dérangeantes. Mais s'accommodant d'une opérationnalité jamais démentie (même dans des prédictions « choquant le bon sens ») peu osent les expliciter, et d'abord celle-ci : *essentiellement liée à sa représentation intersubjective la matière tout court n'existe pas*.

La représentation tout court n'existe pas non plus. Nos préjugés, c'est bien connu, sont projetés dans notre perception — preuve que *l'information-organisation adhère à l'information-connaissance autant que l'avvers au revers d'une médaille*.

Focalisée sur *son* présent, la conscience éveillée [*l'attention à la vie* de Bergson] et l'hyperconscience du physicien expérimentateur occultent l'épaisseur temporelle et de la matière, et de l'inconscient : une épaisseur permettant à la « cause finale » *d'organiser, d'aspirer*, à la manière d'un « puits » sis dans le futur.

L'occultation de cette face des choses se rattache à l'irréversibilité³¹. *C'est en fait, pas en droit*, qu'on ne peut « ni voir dans le futur, ni agir dans le passé ». Le *lien de fait* entre causalité retardée, entropie croissante, information-connaissance, est *inséparablement* mode d'emploi et grille de lecture hérités d'un paradigme certainement appelé à être supplanté.

Expérimentalement prouvée, *la non-séparabilité ne peut qu'avoir un corollaire intersubjectif* : deux observateurs d'occurrences corrélées sont inconsciemment corrélés. Il doit donc exister *une intercorrélacion psychologique universelle à la Jung, une représentation CPT-invariante de la matière objectivée*. Toute une

³⁰ [Kastler 1976].

³¹ [Reichenbach 1956] et [Costa de Beauregard 1963].

phénoménologie subliminale, ou si l'on veut « paranormale », restant à explorer, *doit* donc opérer constamment à bas niveau énergétique, et occasionnellement émerger.

Un curieux texte de Taine énonce à sa manière cette thèse de l'univers biface, de *l'esse est percipi* : « Notre perception extérieure est un rêve du dedans qui se trouve en harmonie avec les choses du dehors ; et, au lieu de dire que l'hallucination est une perception extérieure fautive, il faut dire que la perception extérieure est une hallucination vraie ».

J'emprunterai ma conclusion finale à Proust : *Les paradoxes d'aujourd'hui sont les préjugés de demain*, ou à Boileau : *Le vrai peut quelquefois n'être pas vraisemblable*.

Bibliographie

Aspect, A. / Grangier, P. / Roger, R.

1982 *Phys. Rev. Lett.*, 49.

Bertrand, J.

1888 *Calcul des Probabilités*. (Paris : Gauthier Villars).

Boltzmann, L.

1896 / 98 *Vorlesungen über Gastheorie*. (Leipzig : Barth).

Born, M.

1926 *Zeits. Phys.* 38.

Butt, D. K. / Lowe, J. / Wilson, A. R.

1976 *J. Phys* 613.

Costa de Beauregard, O.

1953 *Comptes rendus de l'Académie des sciences* 236.

1963 *Le second principe de la science du temps*, (Paris : Seuil).

1983 *Phys. Rev. Lett.*, 50.

1993 *Relativity and Probability*, in *Symp. Found. Mod. Physics*, P. Bush, P. Lahti, P. Mittelstaedt (éds.). (Singapore : World Scientific).

Cramer, J. G.

1986 *Rev. Mod Phys* 58.

Cuénot, L.

1941 *Invention et finalité en biologie*, (Paris : Flammarion).

- Dilworth, C. (éd.)
1992 *Intelligibility in Science*. (Amsterdam : Rodopi).
- Dirac, P. A. M.
1947 *The Principles of Quantum Mechanics*, 3ème édition. (Oxford : Clarendon Press).
- Eccles, J.
1986 *Proc. Roy. Soc.* 22.
- Einstein, A.
1928 *Electrons et photons — Rapports et discussions du 5ème Conseil Solvay*. (Paris : Gauthier Villars).
- / Podolsky, B. / Rosen, N.
1935 *Phys. Rev.* 47, 777.
- Fantappié, L.
1993 *Teoria Unitaria del Mondo Fisico e Biologico*, réédition. (Rome : Di Renzo).
- Feynman, R. P.
1949 *Phys. Rev.* 76.
- Gibbs, W.
1902 *Elementary Principles in Statistical Mechanics*. (New Haven : Yale University Press).
- Grad, H.
1961 *Comm. Pure Appl. Math.* 14.
- Hadamard, J.
1930 *Cours d'Analyse professé à l'Ecole Polytechnique*.
- Hoekzema, D. J.
1992 *Found. Phys.* 22.
- Hokkyo, N.
1988 *Found. Phys. Lett.*, 293.
- Jaynes, E. T.
1983 *Papers on Probability, Statistics and Statistical Mechanics*. (Dordrecht : Reidel).
- Jordan, P.
1926 *Zeits. Phys.* 40.
- Kastler, A.
1976 *Cette étrange matière*. (Paris : Stock).

Formalisation et intelligibilité en physique

- Lévy, P.
1925 *Calcul des Probabilités.* (Paris : Gauthier Villars).
- Lewis, G. N.
1930 *Science*, 570.
- Lüders, G.
1952 *Zeits. Phys.*, 133.
- Rayski, J.
1979 *Found. Phys.*, 217.
- Reichenbach, H.
1956 *The Direction of Time.* (Berkeley : University of California Press).
- Roberts, K. V.
1978 *Proc. Roy. Soc.*, A360.
- Ruyer, R.
1954 *La Cybernétique et l'origine de l'information*, (Paris : Flammarion).
- Shannon, C.
1948 *Bell System Tech. Journ.*, 379.
- Stapp, H. P.
1975 *Nuovo Cim.*, 36B, 270.
- van der Waals, J. D.
1911 *Phys. Zeits*, 12.
- Wigner, E. P.
1967 *Symmetries and Reflections*, (Cambridge, Mass. : MIT Press).
- Wilson, A. R. / Lowe, J. / Butt, D. K.
1976 *J. Phys.* 62, 613.
- Ziino, G.
1989 *Ann. Fond. L. de Broglie* 14.