

Rémy Lestienne

# WHITEHEAD, LA NÉGATION DE L'INSTANT ET LA MÉCANIQUE QUANTIQUE



Rémy Lestienne

# WHITEHEAD, LA NÉGATION DE L'INSTANT ET LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

## Sommaire



- 1 – Introduction
- 2 - Points mathématiques et instants de temps n'existent pas
- 3 - Le développement de la mécanique quantique et la quantification du temps.
- 4 - Concrecence et préhensions whiteheadiennes vs réduction du paquet d'ondes
- 5 - La Solidarité du Monde et l'Intrication Quantique
- 6 - Potentialité, réalité, actualité
- 7 - Transmutation et individualisation chez Whitehead
- 8 - Conclusion

La philosophie de la Nature et du Temps chez Alfred North Whitehead (1861-1947) n'a peut-être pas suffisamment retenu l'attention des scientifiques, en particulier en France. Le présent article examine les relations entre la philosophie de la Nature de cet auteur et la mécanique quantique dans ses développements historiques. Après un rappel du contexte dans lequel celui-ci a été amené à nier l'existence de l'instant mathématique (sections 1 et 2), on revient sur les arguments qu'il a tirés à propos du développement de la mécanique ondulatoire (section 3). Le rapport entre la théorie des concrecences et des préhensions avec la mécanique quantique (les réductions des paquets d'ondes d'une part et l'intrication quantique d'autre part) est examiné en section 4. La non localité entraînée par l'intrication quantique est plus subtile que la solidarité universelle entraînée, dans la philosophie de l'organisme, par les préhensions, mais leur rapport possible est examiné en section 6. Enfin, les deux théories s'accordent pour laisser une large place à la distinction entre potentialité et actualité (section 7). Malgré toutes ces convergences, une interprétation strictement whiteheadienne de la théorie quantique semble difficile, dans la mesure où sa métaphysique a ignoré un principe fondamental de la mécanique quantique : celui de la superposition des états.

Malgré ses défauts, la métaphysique de Whitehead, et en particulier la négation de l'instant, a mis en lumière, à mon sens, la complexité du temps de la nature (chez Whitehead le process), bien au-delà de la variable continue  $t$  des physiciens. Une large part de cet article est basée sur mon livre *Whitehead, Philosophe du Temps* (Lestienne, 2020).

The philosophy of Nature and Time in Alfred North Whitehead (1861-1947) may not have received enough attention from scientists, particularly in France. This article examines the relationship between Whitehead's philosophy of Nature and quantum mechanics in its historical developments. After a reminder of the context in which he was led to deny the existence of the mathematical instant (sections 1 and 2), we return to the arguments he drew from the development of wave mechanics (section 3). The relationship between the theory of concrecences and prehension with quantum mechanics (collapse of the wave function on the one hand and quantum entanglement on the other) is examined in section 4. The non-locality driven by quantum entanglement is more subtle than the universal solidarity driven, in the philosophy of the organism, by prehensions, but their possible relationship is examined in section 6. Finally, both theories agree to give a large place to the distinction between potentiality and actuality (section 7). Despite all these convergences, a strictly Whiteheadian interpretation of quantum theory seems difficult, since its metaphysics has ignored a fundamental principle of quantum mechanics, that of the superposition of states.

Despite its defects, Whitehead's metaphysics, especially the negation of the instant, has brought to light, in my opinion, the complexity of nature's time (with Whitehead the process), far beyond the continuous variable  $t$  of physicists. A large part of this article is based on my book *Whitehead, Philosophe du Temps* (Lestienne, 2020).

Mots-clés : Whitehead, Temps, Instant, Mécanique Quantique, actualité, potentialité.

Keywords : Whitehead, Time, Instant, Quantum Mechanics, actuality, potentiality

## 1. Introduction

On sait que pendant qu'il collaborait avec Bertrand Russell pour l'écriture des *Principia Mathematica* (1910-1913), Whitehead avait insisté sur le caractère très abstrait des points d'espace, et pour cette raison refusait de baser sur eux les fondements de la géométrie. A partir de 1911, il étend cette observation aux instants de temps et développe progressivement, à partir de là, une vision de l'ontologie du monde comme une succession de « concrecences d'entités actuelles » dont chacune apporte avec elle une brique de temps finie. Naturellement, sa philosophie de la Nature n'est cependant pas née d'un coup, mais mûrit progressivement. Nous suivons ici ce développement historique, en dialogue avec les progrès de la théorie physique dans la première moitié du XXe siècle ; nous la prolongerons aussi, pour la mettre en relation avec le phénomène de l'intrication quantique et ses preuves expérimentales récentes, et ouvrirons les perspectives pour la discussion des relations esprit-matière chez Whitehead et en physique quantique.

Dans son article de 1905, *On Mathematical Concepts of the Material World*, Whitehead revient d'abord, à la suite de Descartes et de Newton, sur la physique classique, pour en critiquer les fondements. Il explique que celle-ci a imposé la trilogie : points d'espace, particules de matière et instants de temps comme ingrédients de base.

Tenant compte des difficultés rencontrées dans son travail commun avec Bertrand Russell au sujet de la notion de point comme base de la géométrie, Whitehead propose dans cet article séminal de suivre plutôt l'inspiration de Leibniz et de sa conception « relationnelle » de l'espace.

Malgré le caractère très 'classique' de cet article, s'agissant de la métaphysique du temps, il marque la première publication de Whitehead dans le domaine de la métaphysique et de la philosophie des sciences. Whitehead a 46 ans. Son intérêt pour la philosophie et la métaphysique a progressivement grandi, mais n'a pas encore atteint sa plénitude. Il est peut-être en partie encore prisonnier de l'influence de Bertrand Russell, son ancien élève, et à cet époque son ami le plus proche et

son collaborateur pour l'écriture de *Principia Mathematica*. Russell, en ces années-là, est en effet considéré comme un spécialiste de Leibniz, tout en restant attaché à la vision classique du temps. En outre, en 1905 et dans les années qui suivirent, Whitehead est encore pleinement occupé aux tâches administratives et d'enseignement qui lui incombent à *Trinity College*, ainsi qu'à la rédaction (avec Bertrand Russell) des *Principia*.

## 2. Points mathématiques et instants de temps n'existent pas

À l'été 1910, les Whiteheads déménagent de Cambridge vers Londres. En septembre 1911, Whitehead corrige les épreuves du second volume des *Principia* et travaille sur le thème du volume IV prévu pour cette œuvre : la géométrie. Fort tard dans la soirée du 2 septembre, il a subitement une inspiration, une illumination, qu'il livre dès le lendemain dans une lettre à Bertrand Russell :

La nuit dernière, quand j'étais sur le point de finir les révisions [du second volume des *Principia*], l'idée m'est venue brusquement que le temps pourrait être traité exactement de la même manière que j'ai maintenant traité l'espace (qui est très belle, en fait). Ainsi, jusqu'aux petites heures de la matinée, je me suis employé à mettre par écrit des notes sur les diverses implications [de cette idée]. Le résultat est une théorie relationnelle du temps, exactement parallèle [on four legs with] à celle de l'espace. Telle que je la vois, elle résout toutes les anciennes difficultés, et surtout abolit les instants de temps. (Lowe, 1985, p. 299)

Il a cinquante ans, l'âge de la maturité. Il va enfin pouvoir se consacrer davantage à l'élaboration de son système du monde, qu'il veut construire sur la seule base des données sensibles primaires, et non sur des abstractions. Mais il ne quitte pas sa lettre à Russell sans ajouter un paragraphe pour avouer que cette histoire de la nature du temps l'a, en fait, toujours embarrassé, car il a toujours soupçonné que le temps était une propriété bien plus complexe que ne le laisse supposer la notion commune 'phagocytée' - pour ainsi dire par Galilée - et axiomatisée par Descartes et surtout Newton. « Mais j'ai dû cacher mon embarras en raison du manque d'espoir. Et finalement, j'ai mis mon couteau dans la plaie ». (Lettre d'Alfred North Whitehead à Bertrand Russell, 3 septembre 1911).

Pourtant, il faudra attendre huit années de plus pour qu'enfin, en 1919, avec la publication de *An Enquiry concerning the Principles of Natural Knowledge*, il aborde pour la première fois une réflexion sur les conséquences philosophiques de son intuition de 1911.

Le premier chapitre de ce livre est déjà une critique sévère des fondements de la science classique, fondée, comme il le rappelle, sur les trois existants essentiels : le point, l'instant et les particules de matière, ordonnés dans le cadre d'un espace absolu (composé de points) et d'un temps universel (composé d'instants). Parlant du temps, il écrit :

Nous devons inclure [parmi les quantités physiques essentielles] ce fait ultime, au-delà duquel la science cesse d'analyser : la notion de changement. Mais l'état de changement à un instant donné, sans durée, est une conception très difficile. Il est impossible de définir la vitesse sans quelque référence au passé et au futur [...] Cette conclusion détruit la supposition fondamentale que, pour la science, les faits ultimes soient localisés en des instants de temps sans durée.

Et un peu plus loin, Whitehead poursuit :

J'admets [donc] que le fait ultime pour la connaissance obtenue par l'observation est la perception à travers une durée ; c'est-à-dire, que le contenu d'un présent spécieux, et non pas celui d'un instant sans durée, est la donnée ultime pour la science [...] Notre perception du temps c'est une durée, et les instants n'ont été introduits que pour une nécessité supposée de la pensée. En fait le temps absolu est tout autant une monstruosité métaphysique que ne l'est l'espace absolu. (Whitehead, 1919, p. 2-8)

Dans ce passage un mot doit retenir notre attention, car il pointe le doigt sur l'une des sources probables de la réflexion de Whitehead, en tous cas sur l'un des arguments évoqués pour son soutien : le présent spécieux. Pour les philosophes, cette expression fait immédiatement référence à l'ouvrage de William James, le grand psychologue et philosophe de Harvard, qui avait publié, en 1890, son traité *The Principles of Psychology*.

Le chapitre que ce dernier consacre à la perception du temps oppose l'expérience concrète du présent au présent abstrait, à l'instant mathématique sans durée séparant le passé et le futur. Citant, semble-t-il, l'une de ses connaissances, James écrit : « Appelons-la le présent spécieux, et dénotons le passé, qui est donné comme étant le passé, comme le *passé évident*. Toutes les notes d'une barre musicale semblent à celui qui l'écoute être contenues dans le présent. Tous les points lumineux de la trace d'une étoile filante semblent à l'observateur être contenus dans le présent. » Et il conclut : « En somme, le présent que nous connaissons pratiquement n'est pas fin comme la lame d'un couteau, mais il est en forme de selle de cheval, avec une certaine largeur propre sur laquelle nous sommes assis, et à partir de laquelle nous regardons dans les deux directions du temps ». (James, 1890)

Au chapitre XV de son livre, James s'étend sur les raisons qui le poussent à introduire ce présent épais. Il cite les observations de plusieurs psychologues de son temps : Wundt, Dietze, Exner, Fechner et d'autres. Les uns ont cherché l'empan de temps maximum tel que les événements qui le composent (une succession de notes de musique par exemple) sont ressentis comme constituant une totalité distincte. Leur conclusion varie de quelques secondes à environ une douzaine. D'autres ont cherché au contraire l'intervalle de temps minimum pour que deux événements soient perçus comme distincts. Cet intervalle dépend évidemment de l'appareil sensitif concerné : Exner trouve que deux claquements d'étincelles peuvent être perçus comme successifs si l'intervalle qui les sépare dépasse 2 millisecondes environ, mais que deux éclairs lumineux tombant sur la même région de la rétine ne sont distingués que s'ils sont séparés de plus de 44 millisecondes. Rappelons-nous que le cinéma moderne utilise des caméras filmant à la cadence de 24 images secondes, soit 42 millisecondes par image. D'autres, enfin, ont cherché quelle est la plus petite différence entre intervalles de temps qui peut être reconnue, et quel est l'intervalle de temps pour lequel on apprécie le mieux cette différence de temps écoulé, autrement dit la période de temps qui est la plus précisément évaluée. La plupart des chercheurs cités par James s'accordent pour une durée de l'ordre de 750 millisecondes. James résume :

Nous avons vu que notre intuition d'une durée maximum couvre difficilement plus d'une douzaine de secondes [...] de sorte que nous devons supposer que cette durée est inscrite d'une façon bien stable en chaque instant qui passe de notre conscience en raison de quelque particularité remarquablement constante de l'activité cérébrale à laquelle la conscience est liée. [...] La durée ainsi habituellement perçue n'est autre que le 'présent spécieux', ainsi que nous l'avons appelé quelques pages plus haut. [...] La durée et les événements qui lui sont associés forment notre intuition du présent spécieux avec son contenu. Pourquoi une telle intuition doit-elle résulter de telle ou telle combinaison d'activités cérébrales ? Je ne prétends pas le dire. Tout ce que je veux, c'est établir la forme la plus élémentaire de la conjonction psychophysique. (James, 1890, chap. XV)

La psychophysiologie n'était certes pas suffisamment développée à cette époque pour préciser et comprendre les mécanismes physiologiques concernant l'appréciation des durées et le contenu du présent spécieux. Aujourd'hui, les recherches en neuropsychologie et neurophysiologie ont confirmé et largement précisé les réflexions de James. Bien davantage que d'être une machine à prendre des instantanés photographiques de la réalité extérieure, notre cerveau apparaît aujourd'hui comme une machine à réviser les données sensorielles pour s'assurer de leur cohérence et analyser leurs causes probables afin de déterminer les actions à accomplir. Une telle évaluation prend nécessairement du temps.

Le présent spécieux est une nouvelle fois présent à chaque page du nouveau livre que Whitehead publie l'année suivante, *The Concept of Nature*, reprenant des résonances profondes avec les réflexions de James. Whitehead écrit ainsi : « L'instantanéité est le concept de la nature entière à un instant, un instant étant conçu comme dépourvu de toute extension temporelle. Par exemple, nous formons un concept de la distribution de la matière dans l'espace à un instant. C'est un concept très utile pour la science, spécialement en mathématiques appliquées ; mais c'est une idée très complexe pour ce qui regarde ses liens avec les faits immédiats de la conscience sensible. Il n'existe aucune chose posée par la conscience sensible qui ressemble à la nature en un instant donné. Ce que la conscience sensible livre à la connaissance, c'est la nature à travers une période. » Et, un peu plus loin, on trouve ce passage aux accents particulièrement 'Jamesiens' : « Le caractère du moment et l'idéal d'exactitude qu'il renferme, n'affaiblit en rien la position selon laquelle le terminus ultime de la conscience sensible est une durée avec une épaisseur temporelle. Cette durée immédiate n'est pas clairement délimitée pour notre appréhension. Sa frontière initiale est brouillée par l'atténuation dans la mémoire et sa frontière finale est brouillée par l'émergence de l'anticipation » (Whitehead, 1920, p. 95 et 108).

### 3. Le développement de la mécanique quantique et la quantification du temps.

Mais venons-en à l'autre pilier concret de sa défense du présent épais et de l'irréalité de l'instant conceptuel. Celui-ci lui est apporté dans la deuxième partie des années 20 par le développement de la mécanique quantique, alors souvent appelée « mécanique ondulatoire ».

En 1911, la mécanique quantique est encore dans les limbes. Il faudra donc attendre que les principaux principes de la nouvelle science soient posés, en 1925, par Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger et les physiciens qui entouraient Niels Bohr à Copenhague. Il est remarquable que Whitehead s'empare du sujet dès cette année-là, dans son livre *Science and the Modern World*, alors que les fondements de la mécanique quantique sont encore en discussion entre les principaux protagonistes. En 1925, Heisenberg n'a pas encore proposé officiellement sa vision de la mesure qui sera à l'origine du postulat de la réduction du paquet d'ondes ce qui montre que, contrairement à une idée répandue, Whitehead était très attentif aux développements de cette nouvelle discipline et à ses implications pour la philosophie de la nature.

Dans *La Science et le Monde Moderne*, Whitehead écrit à ce sujet :

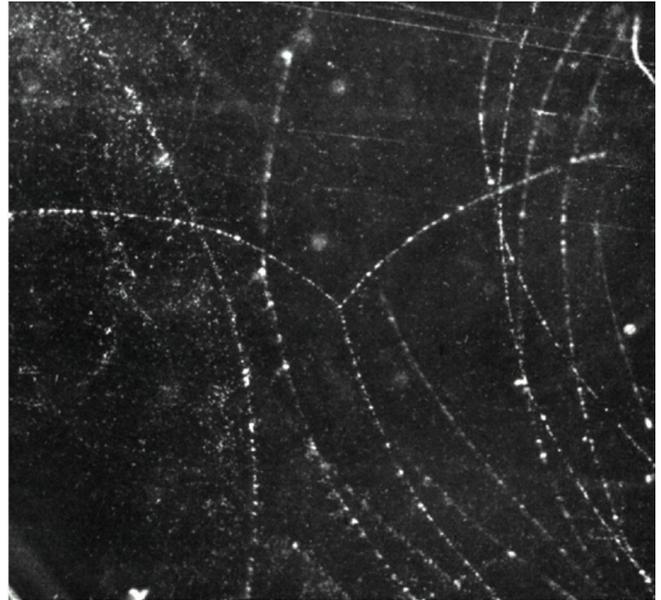
A présent la physique est troublée par la théorie quantique. Je n'ai pas besoin d'expliquer maintenant ce qu'est cette théorie à ceux pour qui celle-ci n'est pas encore familière. Le point important est qu'une des lignes les plus prometteuses d'explication est de supposer qu'un électron ne poursuit pas sa trajectoire dans l'espace d'une façon continue. La notion alternative de son mode d'existence est qu'il apparaît à une série de positions détachées dans l'espace, qu'il occupe pour différentes durées de temps. C'est comme si une automobile, se déplaçant à la vitesse moyenne de trente miles à l'heure sur une route, ne suivait pas la route de façon continue, mais apparaissait successivement aux bornes [marquant les miles], en restant pour deux minutes à chaque borne [...] Les discontinuités introduites par la théorie quantique nécessitent la révision de concepts physiques pour s'y adapter. En particulier, on a fait remarquer qu'une certaine théorie de l'existence discontinue est requise. Ce qui est demandé d'une telle théorie, c'est que l'orbite d'un électron soit regardée comme une série de positions détachées les unes des autres, et non pas une ligne continue. (Whitehead, 1925, p. 37 et 137)

Un peu plus loin, il se lance dans une explication qui semble aujourd'hui relativement embrouillée, quoiqu'elle fasse probablement allusion à Bergson : « La temporalité vient de la réalisation, dans un événement-sujet, d'une structure qui demande pour sa manifestation que l'ensemble de la durée soit spatialisé (c'est-à-dire arrêté), comme donnée par ses aspects dans l'évènement. Donc la réalisation procède via la succession de durées 'epochales' [c'est-à-dire atomisées] ». (Whitehead, 1925) Il poursuit en expliquant qu'une période complète de l'onde associée à un événement-objet définit la durée requise pour la manifestation complète de sa structure. Par conséquent, l'évènement primaire est réalisé de façon atomique dans une succession de durées, chaque durée devant être mesurée d'un maximum à l'autre. Ainsi, pour autant que cet événement vu comme une entité persistante soit pris en compte, on doit assigner sa persistance à ces durées prises successivement. Si on le considère comme une chose, sa trajectoire doit être mathématiquement représentée par une série de points détachés. Le mouvement d'un événement primaire est donc discontinu dans l'espace et dans le temps.

La conception quantique du mouvement s'illustre d'une manière particulièrement suggestive dans les clichés de traces de particules élémentaires telles que des électrons, dans une chambre à brouillard. Ce dispositif mis en œuvre en Angleterre à la même époque par Charles Wilson, et qui lui vaudra d'être récompensé en 1927 par le Prix Nobel, permet en effet de visualiser la trajectoire de particules quantiques en mouvement.

La figure 1 est un exemple de cliché de chambre de Wilson prise à peu près à cette époque. Il montre au centre la colli-

sion d'un positon (électron positif, arrivant par le bas) avec un électron atomique, résultant dans la déflexion du positon et l'éjection de l'électron, reconnaissables à la courbure opposée de leurs trajectoires dans le champ magnétique. On distingue clairement dans ce cliché les chapelets de gouttelettes successives qui trahissent la trajectoire des différentes particules en jeu.



**Figure 1.** Cliché de chambre à brouillard sur lequel les trajets des particules chargées se manifestent comme des chapelets de bulles séparées. Leurs trajectoires continues doivent être construites par interpolation entre ces bulles.

#### 4. Concréscence et pré-hensions whiteheadiennes vs réduction du paquet d'ondes

La première - et la plus importante - conséquence de la disparition de l'instant en tant que brique élémentaire du temps est que le changement dans la nature est désormais compris comme n'étant pas continu. C'est une succession de tableaux fugitifs, un chapelet de bulles ; avec chaque bulle d'évolution, il y a de la place pour l'apparition de nouveauté et donc, dans le cours apparemment dicté par le déterminisme des événements, la possibilité d'apparition de bifurcations.

Nous vivons donc dans une séquence de cristallisations du réel, ou comme Whitehead le dit, de 'concréscences'. Ce mot apparaît pour la première fois dans une conférence donnée au sixième congrès international de philosophie qui s'est tenu

à Harvard du 13 au 17 septembre 1926 où Whitehead fait une communication intitulée *Time*. Il y affirme d'abord que « si le temps est pris au sérieux, aucune entité concrète ne peut changer : elle ne peut qu'être remplacée ». (Whitehead, 1961) Ainsi, les entités concrètes se remplacent les unes les autres, indéfiniment.

Ces conrescences font que l'univers devient réel au sens que nous attribuons à ce terme, c'est-à-dire observable et manipulable par nous. Non seulement l'univers comme un tout, mais chaque objet autour de nous subit le même processus incessant de conrescences. Un électron est une suite de conrescences microscopiques, une horloge ou une chaise sont des suites de conrescences mésoscopiques, et l'univers entier l'est tout autant au niveau cosmologique.

Ainsi, pour Whitehead, toute scène vécue est donc, au sens premier, une succession rapide de tableaux figés. Une suite de brusques cristallisations d'un monde de virtualités fluides, de potentialités. On pourrait dire qu'elles sont comme des flashes, et que notre vision est donc hachée, stroboscopique, comme lorsque dans une salle de dancing plongée dans le noir on allume par intermittences rapprochées les feux de la rampe ; mais ce serait aller trop loin. Car, d'un autre côté, comme il l'a affirmé avec autant de force, la réalité est le *process*, la fluence, le changement, la créativité. « Ma doctrine est fondée sur trois principes métaphysiques. Le premier est que le caractère essentiel de la réalité concrète – c'est-à-dire de la réalité dont la réalisation est complète – est le *process*. Donc chaque chose actuelle ne peut être comprise que comme quelque chose qui naît et dépérit aussitôt. Il n'y a pas de halte dans ce processus, pour laquelle la chose serait juste un soi statique, sur lequel un changement des circonstances extérieures agirait. C'est le contraire qui est vrai ». (Whitehead, 1933, p. 275)

La conrescence incorpore dans la réalité du présent les choses du passé. « Nos vies sont dominées par les choses qui endurent », écrit Whitehead, « chacune d'entre elles que nous rencontrons dans l'expérience est comme une unité de nombreuses occasions liées ensemble par la force de l'héritage commun ». Il faut donc compléter notre vision de la conrescence, de la transition, en un mot du *process*. Il faut y faire place à l'immersion du passé dans le présent, ou comme le dit Whitehead, de la puissance et de l'immortalité objective du passé. Le lecteur trouvera sans doute que ces paroles résonnent fort avec celles de Bergson, qui a tant insisté sur la persistance du passé dans le présent, et il aura raison.

Whitehead lui-même l'a expliqué : le mot 'conrescence' est dérivé du verbe latin usuel 'conrescere', qui veut dire 'croître ensemble'. Il a aussi l'avantage que l'adjectif 'concret' est couramment utilisé pour désigner une réalité physique aboutie. Donc le mot conrescence est utile pour traduire la notion d'une pluralité de choses acquérant une unité complexe ache-

vée. Mais il ne rend pas compte de la nouveauté créative sous-jacente. En fait, Whitehead applique plus particulièrement ce mot et le concept qu'il représente aux moments de cristallisations globaux, ceux qui concernent le monde tout entier : « On appelle *conrescence* le procès par lequel l'univers, avec sa pluralité de choses, acquiert une unité individuelle propre. Celle-ci s'obtient en reléguant chacun des éléments de la pluralité à un rôle subordonné dans la constitution de l'unité nouvelle ». (Whitehead, 1929, p. 344)

Whitehead l'a dit et redit, la conrescence elle-même ne prend pas place dans le temps, mais le temps naît avec elle.

Chaque conrescence donne lieu à une *entité actuelle*, encore appelée occasion actuelle. Pourquoi occasion actuelle plutôt que chose ou objet ? Je pense qu'il l'utilise pour souligner le caractère contingent de la réalité. Quand on dit qu'on a eu l'occasion de rencontrer quelqu'un ou d'aller à tel endroit, on entend bien qu'on a saisi une chance. Quoiqu'il en soit, le fait le plus important pour Whitehead dans la conrescence d'une occasion actuelle, c'est la créativité en vertu de laquelle la pluralité des occasions atteint l'unité concrète. Car cette transition vers l'unité n'est jamais totalement déterminée. C'est un peu comme l'assemblage de marqueterie pour former un parquet, ou celle d'une mosaïque romaine pour la pièce de réception d'un palais impérial. Toutes les pièces disponibles, les conrescences partielles du passé, ne concourent pas nécessairement à l'assemblage ; pour qu'une pièce y participe, il faut que sa forme ou ses couleurs puissent contribuer à l'harmonie générale. L'entité actuelle naissante tend à ce but grâce en particulier à la dose de liberté de choix qu'elle possède, son « pôle mental ».

Dans la philosophie de l'organisme, l'état présent du monde, c'est une multitude de conrescences qui sont libres les unes par rapport aux autres, et donc dans chacune desquelles il y a une place pour l'avènement d'une dose de nouveauté. Mais c'est aussi un ensemble qui dépend solidairement de son passé, de ce tissu infiniment dense de conrescences antérieures qui donnent à certaines lignes évolutives entre conrescences des qualités de permanence qu'un observateur désignera naturellement en 'choses pérennes' ou 'objets permanents'.

D'un autre côté, la solidarité du monde et la causalité découlent de cette capacité des entités actuelles d'englober, dans l'acte même de la conrescence, les entités actuelles antérieures. Whitehead utilise pour cela le concept de 'préhension'. Les occasions ou entités actuelles en voie de conrescence et les entités passées se préhendent mutuellement, tissant une chaîne causale entre eux. Observons toutefois que Whitehead admet que dans l'acte de conrescence, les prévisions peuvent ne pas concerner indistinctement toutes les occasions actuelles ; il y a une certaine liberté de choix, et même la liberté de préhender certaines entités abstraites qu'il appelle les « entités éternelles ». C'est par là que s'insi-

nue pour Whitehead la possibilité d'apparition de nouveauté, voire de progrès dans l'harmonie du monde, et d'intervention de la déité. Mais ceci dépasse le cadre de cet exposé.

## 5. La Solidarité du Monde et l'Intrication Quantique

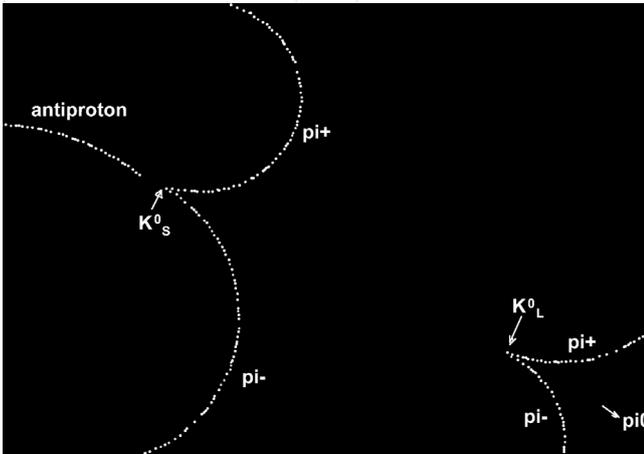
Du point de vue de la physique contemporaine, la solidarité du monde se manifeste dans le phénomène de l'intrication quantique entre systèmes éloignés. On le sait, la conclusion des expériences d'Alain Aspect au début des années 80 et de nombreuses expériences du même genre réalisées depuis est qu'il existe effectivement dans la nature une inséparabilité fondamentale, telle que deux systèmes ayant interagi dans le passé (les deux photons émis par le même atome dans l'expérience d'Aspect) sont toujours solidaires, quelle que soit leur distance actuelle. Il n'y a pas de description complète possible de chaque système sans référence à l'autre.

Par ailleurs, sur le plan théorique, Bernard d'Espagnat avait montré dès 1975 que des résultats contraires à l'hypothèse des variables cachées dépasseraient le cadre étroit de la confirmation ou de l'infirmité des principes fondamentaux de la mécanique quantique. Ils montreraient l'inséparabilité fondamentale de la nature, indépendamment de toute théorie particulière: dans ce cas, *la réalité physique n'a pas la propriété de localité*. (D'Espagnat, 1975) L'auteur exprimait ainsi sa conviction sur la nécessité d'abandonner le principe de séparabilité: « Dans le cadre d'une conception réaliste, je ne vois pour ma part d'autre solution que l'abandon du principe de séparabilité. Cela signifie, schématiquement, soit que l'on doit considérer certains systèmes actuellement éloignés les uns des autres comme constituant un seul système, soit qu'entre des systèmes éloignés existent des influences plus rapides que la lumière ».

Cette formulation soulève cependant une question: les deux termes de l'alternative — solidarité totale des systèmes ou influences plus rapides que la lumière entre deux systèmes séparés — sont-elles bien deux manières équivalentes d'exprimer la même situation? Ce n'est pas sûr, et la seconde paraît en tout cas bien imprudente, dans la mesure où elle peut laisser croire que les lois de la relativité seraient parfois transgressées. Tout le monde reconnaît en effet que les expériences fondées sur le « paradoxe » d'Einstein, Podolsky et Rosen, manifestent des *influences* instantanées à distance, mais ne permettent en aucun cas de transmettre des *signaux* contenant de l'information à une vitesse supérieure à celle de la lumière. Cela résulte du caractère strictement aléatoire des observations faites en un seul et même lieu. Par exemple, un observateur placé près de l'un des deux analyseurs dans l'expérience d'Aspect n'enregistre jamais que des réponses aléa-

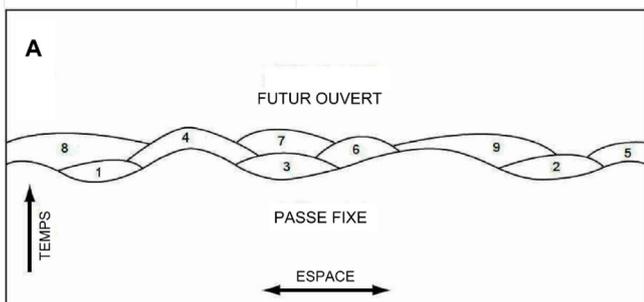
toires, obéissant à la même loi de probabilité quelle que soit la disposition de l'analyseur qui examine l'état de polarisation de l'autre photon dans l'autre bras de l'appareil. Ce n'est qu'en disposant des statistiques concernant les mesures effectuées sur les deux photons à la fois que l'on peut mettre en évidence les corrélations caractéristiques de l'inséparabilité. Ainsi, l'« influence » entre l'orientation donnée à l'un des analyseurs et les réponses obtenues à l'autre (et réciproquement) ne constitue pas un « signal ». Il vaut donc sans doute mieux éviter, dans un contexte que l'on sait caractérisé par la non-séparabilité, de parler de transmission à distance d'influences entre objets « éloignés », alors que la notion d'éloignement présuppose celle de distance, donc celle de séparabilité.

Après les expériences pionnières d'Alain Aspect en France, les expériences les plus récentes ont porté à moins d'une chance sur un million la probabilité de s'être trompé dans cette conclusion et pouvoir quand même expliquer les observations tout en conservant la localité. D'un autre côté, les mesures les plus récentes et les plus démonstratives concernent toutes la production de couples de photons intriqués, dont on mesure la polarisation selon deux orientations variables, avec deux systèmes de mesure pouvant être séparés de plusieurs kilomètres. Il existe cependant des illustrations de cette propriété d'inséparabilité plus frappantes encore dans la mesure où elles ne concernent pas des photons, ces particules de lumière évanescences, mais des particules de matière dont les propriétés intriquées peuvent être aussi concrètes que leur durée de vie. C'est le cas, par exemple, des couples de particules  $K^0$  et anti- $K^0$ , qui peuvent être produits dans de nombreuses interactions nucléaires telles qu'une annihilation de proton et d'antiproton. Le couple  $K^0$  et anti- $K^0$  produit est intriqué, et peut être décrit en mécanique quantique du point de vue de leur durée de vie comme une superposition de particules  $K^0_s$  et  $K^0_L$  (s pour *short life* et L pour *long life*); or, la seconde de ces particules a une durée de vie moyenne cinquante fois plus longue que la première.



**Figure 2.** Esquisse idéalisée d'un cliché de chambre à bulles montrant l'annihilation d'un antiproton entrant par la gauche et s'annihilant avec un proton de la chambre en deux particules  $K^0$  et anti- $K^0$ , émises au point où la trace de l'antiproton disparaît. Ces particules, quantiquement intriquées, ne provoquent pas la formation de bulles sur leur passage parce qu'elles ne sont pas chargées électriquement. Chacune d'elles, cependant, est décrite en mécanique quantique comme la superposition de deux modes de désintégration, l'un avec une vie moyenne de l'ordre de 0,1 milliardième de seconde et donc un trajet très court (ici en une paire  $\pi^+$  et  $\pi^-$ ), l'autre avec une durée de vie 500 fois plus longue (ici en trois pions  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  et  $\pi^0$ ). Quantiquement intriquées, elles doivent nécessairement se partager les deux modes de désintégration. La question intrigante est « une fois que l'une des deux particules produites dans l'annihilation s'est désintégrée dans le mode court, comment l'autre particule sait-elle qu'elle doit se désintégrer dans le mode long ? »

Dans un article plus récent (Stapp, 2007), l'auteur compare l'explication du présent dans la perspective whiteheadienne avec celle proposée par la théorie quantique des champs.



**Figure 3.** Cette figure représente la construction du présent dans la perspective whiteheadienne. La ligne ondulée à la base de cette figure représente un 'présent' initial. Dans l'évolution dynamique de l'état quantique cette surface s'accroît continuellement vers le futur, tout d'abord en englobant la région spatio-temporelle marquée 1. Cette évolution unitaire, gouvernée par la généralisation relativiste de l'équation de Schrödinger, laisse inaltérés les aspects de l'état quantique initial. Quand une nouvelle condescence – ou, selon la mécanique quantique, une nouvelle réduction de la fonction d'onde représentant la portion 1 de l'espace-temps se produit, elle agit directement (comme projection) seulement sur la nouvelle partie de la surface représentée par la

limite supérieure de la région 1. Mais ce changement direct cause aussi des changements indirects sur la surface actuelle présente à cause des préhensions liées à cette condescence – ou, en termes quantiques, des intrications quantiques. Ces changements indirects produisent ce que Stapp qualifie d'« effets supra-lumineux qu'Einstein appelait des « actions à distance à donner la chair de poule » ».

Ainsi, précise encore Stapp, « Dans une perspective quantique de la philosophie de Whitehead, chaque réduction quantique est identifiée avec la création d'une entité actuelle. Cela conduit à deux types d'actions : la première est la partition d'un *continuum* dans une collection discrète de possibilités distinctes du point de vue de l'expérience ; la seconde est le choix de l'une de ces possibilités discrètes, son actualisation et l'effacement du reste. » (Stapp, 2007, p. 92-94) On notera que Stapp décrit ainsi, succinctement, le processus de condescences successives chez Whitehead.

Henri Stapp poursuit l'article en prenant quand même une certaine distance, ou du moins en constatant un certain caractère inachevé de la philosophie de Whitehead quand on veut la rapprocher de la théorie quantique contemporaine ; il est réticent à certains aspects de la théorie de l'organisme, difficiles à accepter pour un physicien rompu à l'idée de séparation entre le sujet et l'objet, entre l'observateur et la chose. « La théorie [de Whitehead] n'est pas vraiment impliquée par les données empiriques aujourd'hui accessibles », reconnaît-il, « mais elle donne des pistes cohérentes et rationnelles pour rendre compte des aspects discrets [de la réalité] que Bohr et James ont identifiés ». (Stapp, 2007, p. 95) Et ceci en dépit du fait que la théorie « spécifie des conditions précises au sujet de l'espace, du temps, de la causalité, de la notion de 'présent', des aspects de la nature décrits par la physique et la psychologie, et sur la nature des agents conscients. Les concepts anthropocentriques empiriquement validés de la théorie quantique orthodoxe contemporaine et pragmatique deviennent par là-même englobés dans une théorie générale et qui ne soit pas anthropocentrique de la réalité. » (Stapp, 2007, p. 88) C'est pourquoi, tout naturellement, le physicien conclut son article en appelant de ses vœux une version révisée du Whiteheadianisme, qui resterait à venir. Notons cependant que les réserves ainsi exprimées par Stapp ne sont pas toutes partagées par les spécialistes de Whitehead (voir par exemple Joachim Klose, 2009).

## 6. Potentialité, réalité, actualité

Si Henry Stapp a tant insisté sur les ressemblances entre la philosophie de Whitehead et la pensée de Heisenberg, c'est notamment en raison de la distinction commune que les deux auteurs font entre potentialité et réalité. Dès 1942,

Heisenberg avait écrit : « La théorie quantique est cette idéalisation où la réalité apparaît à chaque instant comme une abondance déterminée de possibilités en vue d'une actualisation objective » (Heisenberg, 1998); et dans son livre *Physique et Philosophie*, il précise :

... dans la théorie quantique tous les concepts classiques sont, quand on les applique à l'atome, exactement aussi bien et aussi mal définis que la 'température d'un atome'; ils sont corrélés avec des probabilités statistiques; ce n'est qu'en de rares cas que la prédiction peut être équivalente à une certitude. Encore une fois, comme en thermodynamique classique, il est difficile de taxer une probabilité d'objectivité. On peut peut-être l'appeler une tendance objective, une possibilité, une 'potentia' dans le sens que prend ce terme dans la philosophie aristotélicienne. En fait, je crois que le langage actuellement employé par les physiciens quand ils parlent d'évènements atomiques produit dans leur esprit des notions similaires au concept de 'potentia'. (Heisenberg, 1971, p. 156)

C'est donc peut-être surtout par leur commune réhabilitation des 'potentia' d'Aristote, leur insistance commune sur la notion de potentialité et leur accord pour lui donner un degré de réalité (mais non pas d'actualité) qu'Heisenberg et Whitehead se ressemblent. Tous deux donnaient à la fonction d'onde une valeur de 'potentialité'; leur différence, note Stapp, est que « quand Heisenberg donne un rôle actif à l'agent qui observe », de sorte que comme l'écrit Heisenberg, 'la transition de la possibilité à l'actuel prend place dans l'acte d'observation' (Heisenberg, 1971, p. 54), « pour Whitehead la concrescence est un fait objectif, indépendant de l'observateur ». C'est pour nous l'occasion de souligner encore l'importance fondamentale accordée à la potentialité chez Whitehead, lui qui définit son *principe ontologique* par ces mots : « c'est le principe selon lequel tout se situe positivement en acte quelque part, et en puissance partout ». (Whitehead, 1929/1995, p. 144) Pour lui, tout ce qui est en amont de la concrescence — les entités actuelles passées (et donc 'mortes', mais toujours réelles selon Whitehead), les entités 'éternelles' et leurs préhensions mutuelles, tout cela étant de l'ordre de la potentialité, n'a pas de lieu ni de temps. Seul est concret ce qui advient dans l'acte de concrescence, la cristallisation fugace du réel, acte concret de la nature elle-même et non de l'esprit. Notons que les philosophes et théoriciens de la mécanique quantique se divisent encore aujourd'hui sur ce point qui a mené à la fameuse controverse du chat de Schrödinger.

## 7. Transmutation et individualisation chez Whitehead

Whitehead avait pour objectif de développer une métaphysique de la nature qui soit proprement une ontologie, c'est-à-dire une description de la nature qui ne passe ni par l'interprétation des sens par l'intermédiaire de la conscience ni n'attribue à la conscience de rôle particulier dans le « process ». Franck Robert s'interroge à ce sujet : « l'esprit est donc mis en suspens, mais le corps peut-il l'être de la même manière? Si la nature « est ce que nous observons dans la perception par les sens », pourra-t-on mettre en suspens le corps, sans lequel nulle observation, nulle perception, nul sens ne semble envisageables? ». Et il poursuit : « C'est un constat pourtant : le corps, en tant que tel, semble apparemment le grand absent de la philosophie de la nature. La présence du corps est en revanche décisive, de même qu'une théorie de la perception, dans les œuvres ultimes, dans PR notamment, lorsque la pensée se fait métaphysique ». Car dans *Process et Réalité*, la pensée de Whitehead insiste sur l'idée que les entités actuelles, les êtres vivants ou non, se doivent de sentir, d'être sensibles aux autres entités, actuelles ou passées; bref, d'avoir, à côté de leur pôle matériel, un pôle mental. Et plus loin : « Ce que *Process and Reality* apporte [à la pensée du sensible], ce n'est sans doute pas seulement une théorie de la perception, le refus d'une conception de la perception comprise en un sens réaliste ou idéaliste, reconduisant la distinction sujet-objet, rapportant la perception à un jugement représentatif ou à une relation réaliste-causale. Ce que *Process and Reality* apporte [c'est surtout] le modèle même de la perception pour penser la concrescence des entités actuelles et l'être comme procès, et, bien plus, l'idée que l'être ne saurait être que sensible ». Et l'auteur conclut en soulignant, de ce point de vue, les convergences entre la pensée whiteheadienne et la phénoménologie. (Robert, 2007)

Mais on l'a vu plus haut, Henri Stapp a exprimé de vives réserves quant à l'attribution par Whitehead d'un pôle mental chez toutes les « entités actuelles » et ces réserves sont partagées par l'écrasante majorité des physiciens quantiques. Cette particularité nous conduit à examiner, même succinctement, en quoi consiste ce pôle mental et l'opposition entre les relations esprit-matière chez Whitehead et l'Ecole de Copenhague de la mécanique quantique. Rappelons-nous que Whitehead voulait absolument que la description de la partie physique de la nature fasse appel uniquement aux données sensorielles et aux mesures physiques, sans intervention de l'esprit. C'était là, en particulier, le programme qu'il s'était fixé pour ce qui concerne les phénomènes du monde atomique, à l'opposé de la démarche suivie par les tenants de l'Ecole de Copenhague de la mécanique quantique. La philosophie naturelle de Whitehead est donc un monisme : pour lui, les particules constitutives du monde concret sont

d'un seul genre, ce sont toutes des entités actuelles, nées de concrescences avec leur apport indivisible d'extension et de temps. Cependant, ce n'est pas un matérialisme brut, puisque chaque entité actuelle possède non seulement un pôle physique mais aussi un pôle mental. John Cobb explique : « Pour Whitehead, chaque événement préhende des occasions antécédentes. C'est leur physicalité. Mais chaque événement préhende également des potentialités. C'est leur mentalité. Les événements du cerveau et de l'esprit ont tous à la fois des pôles physiques et mentaux ». (Cobb, 2019) Une autre façon de décrire la différence entre pôle physique et pôle mental est de dire que, quand le premier est la cause matérielle des entités actuelles, le second en est la cause formelle au sens aristotélicien du terme.

Tout en se disant moniste et uniréaliste, Whitehead refuse de se ranger aux côtés de ceux qui professent que la distinction esprit-cerveau est inutile, au motif qu'il n'y aurait dans le monde qu'une seule substance : la matière. Chaque entité actuelle a un pôle mental, mais le rôle de celui-ci est de permettre à l'entité l'expérience de l'environnement et dans une certaine mesure le choix des préhensions, et non pas l'intégration intérieure que l'on appelle la conscience. Donc, bien que sa théorie soit souvent rangée dans la catégorie des théories panpsychistes, Whitehead lui-même a refusé ce vocable. Encore une fois, sa philosophie de la nature a d'abord pour ambition de décrire la nature en se passant de tout recours à l'esprit. C'est en cela qu'il se distingue de l'approche traditionnelle de la Mécanique Quantique par l'Ecole de Copenhague.

Pour Whitehead, ce n'est que dans la structure des organismes supérieurs, grâce aux réseaux très complexes que leur organisation réalise, que la contribution multiple des pôles mentaux des entités actuelles et de leurs préhensions mutuelles réalise le miracle de la conscience au sens psychique que nous donnons à ce terme. Ainsi que le fait remarquer Didier Debaise : « Si l'actualisation est une question relative à la «venue à l'existence» d'une entité actuelle, alors la proposition de Whitehead installe le projet de Procès et Réalité à l'intérieur d'une pensée de l'»individuation» [...] Et, puisque la question est celle de l'individuation, la pluralité a un sens lorsqu'elle est engagée à l'intérieur d'une nouvelle existence, d'une réalité en voie de réalisation. Elle s'appelle alors «potentialité» ». (Debaise, 2006) Cependant, Whitehead reconnaît que, dans un monde complexe, la conscience peut - et généralement participe - à l'individuation par un mécanisme qu'il a appelé une transmutation des données purement physiques des entités actuelles et de leurs préhensions causales qui n'est pas sans rappeler ceux développés par l'école de la «Gestalt». (Whitehead, 1929/1995, p. 80 et suivantes) Mais ce mécanisme mental d'individuation est restreint par les fortes conditions de complexité nécessaires à la conscience proprement dite. Car, comme Anderson Weekes (2012) l'a rappelé, « c'est seulement dans des environnements tels que les systèmes nerveux et les cerveaux qu'on dispose d'assez de

stabilité proximale et d'organisation pour qu'une occasion puisse avoir la riche expérience qui diffère significativement du bruit » (Whitehead, 1933/1967).

Cette relativité – mais noblesse – du rôle de l'esprit est réaffirmée dans *Process and Reality* : « Dans sa propre philosophie, Descartes conçoit le penseur comme créant la pensée occasionnelle. La philosophie de l'organisme inverse cet ordre et conçoit la pensée comme une opération constituante dans la création du penseur occasionnel. Le penseur est la fin ultime par laquelle il y a la pensée. Dans cette inversion, nous trouvons le contraste final entre une philosophie de la substance et une philosophie de l'organisme » (Whitehead, 1929/1995, p. 257).

## 7. Conclusion

Au total, nous sommes bien obligés de constater que Whitehead, bien que n'ayant jamais collaboré directement à la grande œuvre de l'édification de la mécanique quantique, mais certainement inspirée en partie par elle, a donné au monde une philosophie de la nature propre à nous aider à comprendre bien des aspects à première vue paradoxaux de la mécanique quantique. Cet objectif, Whitehead l'a lui-même explicitement visé. Il soutient en effet dans *Process and Reality* que sa théorie de l'organisme fournit un cadre conceptuel pour la théorie quantique. (Whitehead, 1929/1995, p. 154-155 et 208) Dans sa théorie, ce sont les préhensions qui assurent la solidarité du monde et empêchent les occasions actuelles d'avoir une localisation précise. (Whitehead, 1929/1995, p. 208) Cependant, il faut reconnaître que la réconciliation totale de la philosophie de l'organisme chez Whitehead et la mécanique quantique se heurte à un obstacle de taille, qui a bien été souligné par le philosophe des sciences et physicien Abner Shimony. Car la philosophie de Whitehead ignore totalement l'un des principes clés de la mécanique ondulatoire, à la base de la compréhension des phénomènes d'intrication quantique : le principe de superposition des états. Shimony écrit : « Le traitement de Whitehead de l'état d'un système composite n'est pas conforme à un principe de la mécanique quantique qui a peu attiré l'attention en dépit de ses implications révolutionnaires : c'est qu'un système de plusieurs particules peut être dans un état bien défini, c'est-à-dire peut avoir des propriétés aussi bien définies que la théorie quantique le permet, sans que les particules individuelles [qui le composent] soient dans des états définis » (Shimony, 1965). Dans cet article, Shimony spéculait sur l'idée que la philosophie de Whitehead pourrait peut-être nous aider à comprendre, mieux que ne le font le traitement actuel de la théorie de la mesure (la théorie de la décohérence), le mécanisme selon lequel la réduction d'une superposition d'états se produit, ajoutant qu'il faudrait pour cela sans doute remplacer l'équation fondamentale de la méca-

nique quantique, l'équation de Schrödinger, par une généralisation stochastique de cette équation (p. 261). Un travail gigantesque qui n'a pas encore été entrepris. Mais peut-être le jeu en vaudrait-il la chandelle s'il débouchait sur une nouvelle théorie générale de la nature, précise et quantitative, d'inspiration whiteheadienne et débarrassée des contradictions encore patentées entre les deux théories physiques actuelles : la mécanique quantique et la relativité.

Il reste que pour moi l'acquis le plus solide de la philosophie whiteheadienne est certainement la négation de l'instant : le temps de la nature est bien plus complexe que la variable  $t$  des physiciens. Les instants de la physique sont des abstractions lointaines de la réalité du flux, du *process*, et le temps des horloges un produit conceptuel à rattacher peut-être aux mécanismes d'individuation. Enfin, l'inexistence de l'instant, en cassant la continuité supposée de la chaîne déterministe, rouvre à la philosophie deux portes précieuses que beaucoup pensaient définitivement fermées : celle de l'explication ontologique de l'irréversibilité temporelle, ainsi que me l'a fait remarquer Ronald Desmet (communication privée) et celle du libre arbitre (Lestienne, 2018 ; 2020).

La Mécanique Quantique a apporté beaucoup au développement de la *philosophie du process* chez Whitehead, autant sans doute que la Relativité. La question qui reste ouverte est l'inverse, c'est celle de savoir l'apport heuristique que la philosophie de l'organisme peut continuer à apporter à la physique théorique, s'il est vrai qu'aucun développement de la théorie ne peut naître sans un fil conducteur philosophique.

## RÉFÉRENCES

- COBB, John. 2019. "Whitehead and mind-brain relation" [Lien](#)
- DEBAISE, Didier. 2006. Un empirisme spéculatif, lecture de Procès et Réalité de Whitehead. Paris: Vrin, 61-69.
- D'ESPAGNAT, Bernard. Phys. Rev. D, 1975, 11 : 1424 ; Phys. Rev. D, 1977, 18: 349.
- GUISTINA Marissa, et al. 2015. "A significant loophole-free test of Bell's theorem with entangled photons". [Lien Lien](#)
- HEISENBERG, Werner. 1971. Physics and Philosophy, The Revolution in Modern Science. Londres: George Allen & Unwin.
- HEISENBERG, Werner. 1998. Philosophie. Le Manuscrit de 1942, Paris : Le Seuil, 310.
- JAMES, William. 1890. The Principles of Psychology. New York: Henry Holt & Comp., chapitre XV.
- KLOSE, Joachim. 2009. "Process Ontology from Whitehead to Quantum Physics", in: *Recasting Reality. Wolfgang Pauli's philosophical ideas and contemporary science*, H. Atmanspacher & H. Primas eds., Berlin: Springer, 151-170. [Lien](#)
- LESTIENNE, Rémy. 2018. "Whitehead and Roger Sperry. The negation of the instant and the free will https://arxiv.org/abs/1511.03189 problem", in : Orpheus' Glance. Selected papers on process psychology. The Fontarèches meetings, 2002-2017. Louvain-la-Neuve: Les Editions Chromatika, 145-162.
- LESTIENNE, Rémy. 2020. Whitehead, Philosophe du Temps. Paris: CNRS Editions.
- LOWE, Victor. 1985. Alfred North Whitehead, the Man and his Work, Tome I: 1861-1910.
- ROBERT, Franck. 2007. "La perception dans la philosophie de la nature", in: Les Principes de la Connaissance Naturelle d'Alfred North Whitehead (G. Durand et M. Weber, éditeurs), Berlin : de Ruyter, 179-202. [Lien](#)
- SHALM Lynden et al, 2015. "A strong loophole-free test of local realism". [Lien Lien](#)
- SHIMONY, Abner. 1965. "Quantum Physics and the Philosophy of Whitehead", in: Philosophy in America (Ed. Max Black), Cornell Univ. Press, 251.

STAPP, H.P., 1986. "Einstein time and Process Time", in *Physics and the Ultimate Significance of Time* (D. Griffin ed.), New York : State Univ. of New York Press, 264 et 267.

STAPP, Henry. 2007. "Whitehead, James, and the ontology of Quantum Theory", *Mind & Matter*, 5: 83-109. [Lien](#)

WEEKES, Anderson. 2012. "The Mind-Body Problem and Whitehead's Non-reductive Monism". *J. Consciousness Studies*, 19: 40-66.

WHITEHEAD, Alfred. 1919. *An Enquiry concerning the Principles of Natural Knowledge*, Londres: Cambridge University Press, 2-8.

WHITEHEAD, Alfred. 1920. *The Concept of Nature*, Cambridge: Cambridge University Press. Réed. Française, *Le Concept de Nature*, trad. J. Douchement, Paris: Vrin, 2006.

WHITEHEAD, Alfred. 1925. *Science and the Modern World*, Cambridge: Cambridge Univ. Press.

WHITEHEAD Alfred. 1929. *Process and Reality*, New York: Macmillan. Trad. française par D. Charles, Elie M., Fuchs M., Gautero J-L., Janicaud D., Sasso R. et Villani, A. Paris: Gallimard, 1995.

WHITEHEAD, Alfred. 1933, *Adventures of Ideas*. Réed. New York: Free Press, 1967, 275.

WHITEHEAD, Alfred. 1961. *The Interpretation of Science, selected essays*. New York : The Bobbs-Merill Cie, 240.

#### HISTORIQUE

Article soumis le 14 janvier 2020

Version révisée soumise le 30 juin 2020.

Article accepté le 24 août 2020.

#### SITE WEB DE LA REVUE

<https://ojs.uclouvain.be/index.php/latosensu>

ISSN 2295-8029

DOI <http://dx.doi.org/10.20416/LSRSPS.V8I1.1>



SOCIÉTÉ DE PHILOSOPHIE DES SCIENCES (SPS)

École normale supérieure

45, rue d'Ulm

75005 Paris

[www.sps-philoscience.org](http://www.sps-philoscience.org)

#### CONTACT ET COORDONNÉES :

Rémy Lestienne  
 30 rue du Ranelagh,  
 75016 Paris  
[lestienner@gmail.com](mailto:lestienner@gmail.com)

