



Les fils du temps

Rémy LESTIENNE

CNRS, Paris, France

*Correspondance : lestiennr@gmail.com

DOI : [10.18713/JIMIS-210219-7-5](https://doi.org/10.18713/JIMIS-210219-7-5)

Soumis le Neuf Septembre 2018 – Accepté le Vingt-neuf avril 2019

Volume : 7 – Année : 2019

Titre du numéro : **Actes du colloque interdisciplinaire l'Ere du Temps**

Éditeurs : *Alice Guyon, Thomas Lorivel, Julie Milanini, Caroline Bouissou*

Résumé

L'exposé d'Etienne Klein a bien mis en situation le traitement du temps et celui de l'irréversibilité des phénomènes physiques par les physiciens depuis Galilée jusqu'à Einstein. Partant de la relativité einsteinienne, je rappellerai dans la première partie de cet exposé quelques traits de la physique contemporaine qu'il faut avoir à l'esprit quand on parle du temps : la nécessité de l'espace-temps, sa structure ; j'utiliserai le voyageur de Langevin pour justifier l'introduction de la gravitation dans la relativité générale ; le contraste entre la loi de l'entropie croissante pour les systèmes isolés et la possibilité de systèmes auto-organisés pour les systèmes ouverts sera rappelé. Dans la seconde partie, l'absence du *présent* dans la théorie physique est abordée ; j'introduirai la philosophie de la nature d'Alfred North Whitehead, dont le point central concernant le temps est l'inexistence de l'*instant*. Malgré ses limites, cette philosophie de la nature ouvre des perspectives pour une métaphysique du temps compatible à la fois avec la mécanique quantique et la relativité. Elle a de plus le mérite de proposer une explication du présent et des mécanismes de passage de la potentialité à la réalité concrète.

Mots-clés

temps ; présent ; instant ; relativité ; mécanique quantique ; Whitehead

I INTRODUCTION

Arrivé à ce point des conférences « *l'ère du temps* », mon propos tentera d'élargir notre approche de cette notion, en partant bien sûr du temps des physiciens dont Etienne Klein a abondamment parlé, mais en le replaçant dans un cadre plus général, celui dont nous sommes les témoins, le temps conçu comme la vague qui roule, nous porte et nous emporte, et conditionne l'évolution des choses en nous et autour de nous. Il s'agit pour nous d'essayer d'appréhender la complexité de ce temps réel, qui sans nul doute explique, au moins en partie, pourquoi le physicien par excellence (je veux parler d'Einstein) et le philosophe du temps (Bergson) ont eu tant de mal à se parler, lorsqu'il se sont rencontrés à Paris le 6 avril 1922. Repartons donc du temps des physiciens et de la Relativité, dont les énoncés tellement clairs pour les spécialistes peuvent rester un peu mystérieux pour les citoyens ordinaires.

II QUELQUES REMARQUES SUR LE TEMPS DES PHYSICIENS

2.1 Einstein et la Relativité

Pour le grand public, la Relativité du Temps est née quand le Professeur Hermann Minkowski, séduit par la théorie de la Relativité de son ancien élève Einstein, a prononcé à Cologne sa fameuse conférence de 1908 : « Messieurs, la conception de l'espace et du temps que je voudrais développer devant vous a grandi sur le sol de la physique expérimentale. [...] Dès maintenant, l'espace indépendant du temps, le temps indépendant de l'espace ne sont plus que des ombres vaines ; une sorte d'union des deux doit seule subsister encore ». Pour les physiciens désormais, cette relativité de l'espace et du temps — conséquence des deux principes selon lesquels 1) il n'existe pas d'espace absolu (c'est le principe de relativité), et 2) la vitesse de la lumière est la même quel que soit la vitesse de la source — est la première propriété essentielle du Temps. Lorsque les physiciens développent une nouvelle théorie, ils s'imposent toujours de raisonner dans cet espace quadridimensionnel combinant les deux notions d'espace et de temps.

On sait que la relativité restreinte a divisé l'espace-temps environnant une personne quelconque, disons Pierre, en trois régions, à partir du point qu'il occupe ici et maintenant, et permettant à Jeanne, qui l'observe depuis un mobile en mouvement, un certain mélange des coordonnées de temps et d'espace de l'évènement P par rapport aux coordonnées utilisées par Pierre. Cette division reste valable après qu'Einstein eut intégré la gravitation dans la théorie de la relativité, quoique la géométrie de l'Espace-Temps soit devenue plus compliquée.

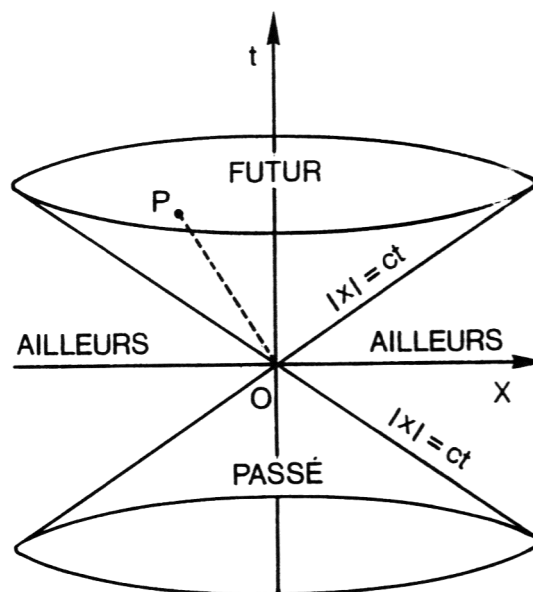


Figure 1 : La relativité restreinte, qui décrit l'espace-temps structuré par les spécificités de la causalité dans la nature telles que manifestées par le comportement des rayons lumineux qui se propagent toujours à la vitesse c , divise l'espace-temps de tout observateur en trois régions : le cône du passé qui rassemble tous les évènements qui ont pu influencer cet observateur et être connus de lui, le cône du futur qui rassemble les évènements qui peuvent être influencés par lui, et l'ailleurs, qui rassemble les évènements qui ne peuvent ni être connus ni influencés par lui.



Grâce à la relativité restreinte, Einstein a montré que la masse était un réservoir d'énergie, qu'une particule de matière radioactive en mouvement rapide avait une durée de vie mesurée par nous supérieure à sa durée de vie au repos, que, de même, le voyageur de Langevin dans une fusée très rapide aurait à son retour sur terre moins vieilli que son jumeau resté sur terre, et toutes sortes d'autres résultats à première vue aussi surprenants.

Permettez-moi de m'attarder un moment sur ce fameux paradoxe des jumeaux de Langevin. Car à mon sens, c'est la discussion du paradoxe des jumeaux (Langevin, Bologne 1911) qui nous aide le mieux à comprendre l'influence de la gravitation dans la structure de l'Espace-Temps et nous introduit à la relativité générale. Langevin explique que le jumeau qui part dans une fusée très rapide, fait le tour d'un corps massif qui lui donne l'impulsion pour revenir vers la terre, trouve à son retour que son jumeau resté sur terre a vieilli davantage que lui. Mais ce résultat ne viole-t-il pas le principe de relativité du mouvement qui est comme on l'a vu à la base de la théorie de la relativité ? Après tout, ne peut-on pas dire aussi bien que c'est la fusée qui est restée immobile, et la terre qui s'est éloignée puis rapprochée d'elle pendant son voyage ? Eh bien, c'est cette expérience qui permet le mieux de montrer au public que la gravitation doit être introduite dans la théorie de la relativité. Bien sûr, on pourrait objecter que la fusée, si elle possède du carburant, pourrait aussi, sans champ gravitationnel, utiliser ses moteurs pour décélérer, se retourner et accélérer de nouveau. Mais pour la relativité générale, il n'y a pas de différence entre champ gravitationnel et accélération, et les deux situations sont traitées exactement de la même manière.

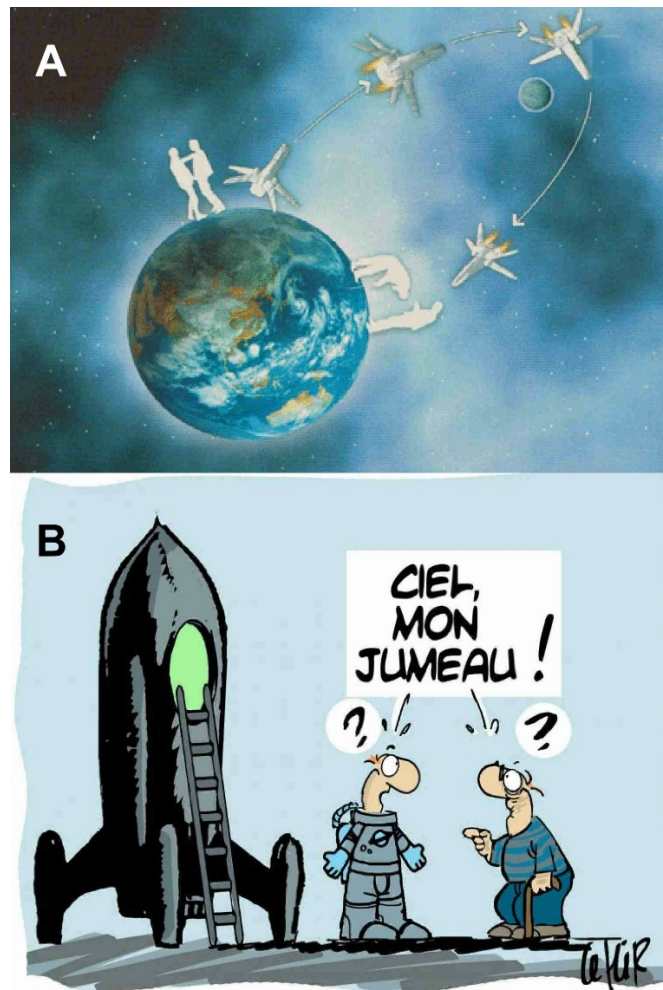


Figure 2 : La relativité générale inclue la gravitation dans la structure de l'espace-temps, comme l'explique le récit de Langevin concernant le voyage à très grande vitesse d'un jumeau laissant son frère sur terre et dont la fusée est ramenée à terre grâce à la gravitation exercée par un corps céleste distant (A). Le jumeau resté sur terre a plus vieilli que lui (B).

A-t-on expérimentalement prouvé que la théorie sur ce point était vérifiée ? La réponse est oui. Il y a presque cinquante ans déjà que l'on a envoyé pour la première fois des avions commerciaux ayant des horloges atomiques à son bord faire le tour de la terre et constaté que leurs indications à leur retour étaient décalées par rapport à l'indication des horloges atomiques restées à terre. Certes, compte tenu de la faible vitesse des avions par rapport à la vitesse de la lumière, la différence n'était pas très grande, quelques centaines de milliardièmes de secondes, mais elle était toutefois parfaitement significative et en accord avec la théorie. Comme on le sait, la relativité générale traite ce problème en disant que le champ gravitationnel déforme la géométrie de l'espace-temps. Celui-ci n'est donc plus un espace pseudo-euclidien. La lumière ne s'y propage plus rigoureusement en ligne droite, les trajectoires des étoiles et des planètes sont des lignes naturelles dites géodésiques qui sont la généralisation dans cet espace des lignes droites en géométrie euclidienne, etc. Mais laissons ces développements qui dépassent le cadre de mon intervention. Ce qu'il faut retenir c'est que la théorie physique repose sur l'idée qu'il y a une structure de l'espace-temps qui est déterminée par ce que, en accord je crois avec Etienne Klein, j'appellerai la causalité. Cette structure détermine

tous les phénomènes qui se déroulent dans le monde, je dis bien tous les phénomènes, y compris notre vie biologique.

Il y a une deuxième propriété qu'Etienne Klein a abordé, mais qu'il a refusé d'associer au temps, il a dit que c'était autre chose, une propriété des phénomènes matériels : l'irréversibilité. Certes, du point de vue des physiciens il a raison ; l'irréversibilité n'est pas une propriété de l'espace-temps. Mais pour nous, l'irréversibilité temporelle reste une constatation essentielle, une évidence vitale. En outre, elle a permis le développement d'une branche essentielle de la théorie physique associée au temps : la thermodynamique. Il faut donc que nous en parlions, fût-ce brièvement.

2.2 L'irréversibilité temporelle

La deuxième propriété essentielle de la notion de temps prise dans un sens général est son irréversibilité, sa flèche. En physique, on a donc inventé cette nouvelle branche de la physique, la thermodynamique, pour en rendre compte. Le fondement de l'irréversibilité thermodynamique c'est l'irréversibilité des flux de chaleur : la chaleur, cette propriété d'agitation au hasard des atomes, s'écoule spontanément des corps chauds vers les corps froids, et jamais l'inverse. C'est cela qui explique l'irréversibilité des phénomènes ou la flèche du temps à notre échelle et fonde la loi de croissance de l'entropie (éditée dans sa forme la plus générale par Rudolph Clausius en 1865, après quelques années de tâtonnements et en particulier après les études de Sadi Carnot sur la machine à vapeur). Cela a bien déconcerté les contemporains des inventeurs de la thermodynamique, car la loi de la croissance de l'entropie dit que dans un système isolé tout doit finalement tendre vers l'uniformité, devenir un enclos tiède et morne où plus rien d'intéressant ne peut désormais se produire. Certains esprits, tel Camille Flammarion, à la fin du XIX^e siècle voulaient appliquer cette loi à l'univers entier et présageaient une triste fin du monde.

Heureusement au vingtième siècle nous avons eu Ilya Prigogine et le développement de la thermodynamique des systèmes ouverts, c'est-à-dire des systèmes locaux ouverts au monde. Ouverts, nous le sommes nous-même, comme le sont tous les êtres vivants, comme le sont beaucoup de systèmes physiques, ne serait-ce que parce qu'il n'existe pas de barrière totalement infranchissable pour les échanges de chaleur. Dans ces systèmes on peut gagner en complexité ; ils ne se dégradent pas forcément. Il y a des systèmes qui s'auto-organisent, en empruntant à l'univers des sources d'entropie négative, c'est-à-dire en profitant des gradients de température. Grâce au flux de chaleur du soleil vers la terre, nous sommes là, nous humains, systèmes auto-organisés et produits d'une évolution de plusieurs milliards d'années.

Mais il existe une troisième caractéristique du temps pris dans son sens large : *le présent*, dont nous n'avons pas encore parlé, et c'est sur lui surtout que je voudrais porter mon attention aujourd'hui. Avec le présent vécu, qui diffère en qualité du passé et du futur, on étend notre investigation vers le domaine du vivant et de la mémoire biologique.

III LE PRESENT ET LA PHILOSOPHIE DU TEMPS CHEZ WHITEHEAD

3.1 Qu'est-ce que le présent ?

Au lendemain de seconde guerre mondiale, un évènement très intéressant pour notre propos s'est déroulé à Princeton, aux Etats-Unis. Il s'agit d'une rencontre entre Einstein et le philosophe positiviste allemand Rudolf Carnap. Dans son autobiographie, ce dernier raconte la conversation qu'il eut au sujet du présent avec le physicien. Einstein confessa que le problème du présent le troublait beaucoup. Que la physique qu'il avait formulée, la théorie de la relativité avec son univers-bloc, comme on dit aujourd'hui, ne puisse rendre compte de l'expérience du présent, tellement importante pour l'Homme, cela l'ennuyait profondément. Et la réponse de Carnap, suggérant que

sur ce point Einstein ne distinguait pas assez entre connaissance et expérience, ne me paraît pas adéquate. Certes, on peut prétendre, comme semble le faire Carnap, que la physique ne fait qu'organiser des connaissances, et laisse parfois des expériences de côté. Mais elle prétend aussi, assez raisonnablement, décrire l'essentiel de la réalité, comme le voulait Einstein. Et l'expérience du présent est évidemment, pour nous humains, la plus cruciale, la plus existentielle que l'on puisse imaginer. Le présent paraît une qualité inséparable du temps.

Un peu de réflexion semble indiquer qu'en pratique, seuls les systèmes ouverts au monde avec lequel ils échangent énergie et entropie peuvent prétendre avoir l'expérience du présent. Déjà, les systèmes physico-chimiques ouverts éprouvent une forme d'actualité, de présent, dans la mesure où ils co-évoluent avec le monde et où, passé un seuil de complexité, ils peuvent s'auto-organiser, structurellement et temporellement. Mais avec les organismes vivants, organisés selon des cycles en cohérence avec les cycles du monde, une nouvelle étape est franchie : ce sont non seulement le présent vécu mais aussi l'anticipation d'un avenir de plus en plus lointain et la remémoration d'un passé de plus en plus profond qui deviennent de plus en plus prégnants lorsqu'on gravit les échelles de complexité, de l'amibe à la souris et de la souris à l'Homme. À ces échelons les plus élevés, la conservation du passé et l'anticipation de l'avenir se solidifient en quelque sorte avec le présent pour donner de l'épaisseur au temps.

Évidemment, ici, l'invention de la mémoire nerveuse intervient, donnant à celle-ci un rôle particulier : celui de l'organe de la sensibilité au temps vécu. Encore que le mot d'« organe » doive être pris ici dans un sens métaphorique, car les centres et circuits dévolus à cette fonction dans le cerveau n'y sont point clairement séparés. C'est la complexité même du cerveau humain, avec ses circuits ascendants et descendants, avec l'étroite superposition des réseaux neuronaux traitant l'information actuelle avec ceux réactivant la mémoire qui lui permet d'appréhender la fuite du temps dans ses différentes manifestations, et d'élargir son horizon temporel au point de laisser l'Homme conscient de son destin de mortel. À ces fonctions du cerveau humain, il faut ajouter bien entendu, en pensant à Paul Ricœur, celle de l'élaboration du récit, chargé de jeter un pont entre le temps du monde et celui de l'esprit, entre les bas niveaux et le plus haut de la temporalité.

3.2 Le présent vécu a une épaisseur temporelle

Le philosophe et psychologue américain William James était frappé par la constatation qu'à son époque, à la fin du XIXe siècle, l'expérience du temps vécu n'avait pas encore été étudiée en profondeur. Dans son livre *les Principes de Psychologie*, paru en 1890, il observe que les objets qui composent le donné sensoriel sont décrits comme faisant partie du présent, mais que la partie de temps à laquelle ils appartiennent, le présent, est tout autre chose que cette limite entre le passé et le futur et que la philosophie [il aurait dû dire plutôt les physiciens mathématiciens] appelle le présent : « Le présent auquel le donné se réfère est en fait une partie du passé, un passé proche que l'on désigne de façon trompeuse comme l'instant qui sépare le passé et le futur. Appelons-le le présent spécieux ». Il prenait l'exemple d'un concert de musique. Quand on écoute un concert, ce qui nous semble le présent, telle note de musique jouée au piano, ne peut pas être contenu dans un instant sans épaisseur. C'est impossible, parce que pour qu'une note de musique soit perçue avec sa hauteur de son, il faut qu'au moins une période de sa vibration se soit écoulée. Il prenait aussi l'exemple de l'observation d'une étoile filante. Ce que voit l'observateur, c'est la trace entière de la météorite brûlant dans l'atmosphère. Toute la trace de l'étoile filante semble à l'observateur être contenue dans le présent. Quand on s'en tient à l'expérience sensible, il semble donc arbitraire d'assimiler le présent à un instant mathématique, d'épaisseur temporelle nulle. La réalité ne nous montre pas cela.

Dans *Matière et Mémoire* (1896), Bergson reprendra la même idée : « Qu'est ce, pour moi, que le moment présent ? Le propre du temps est de s'écouler ; le temps déjà écoulé est le passé, et nous appelons présent l'instant où il s'écoule. Mais il ne peut être question ici d'un instant mathématique. Sans doute, il y a un présent idéal, purement conçu, limite indivisible qui séparerait le passé de l'avenir. Mais le présent réel, concret, vécu, celui dont je parle quand je parle de ma perception présente, celui-là occupe nécessairement une durée. »

3.3 Whitehead adopte une vue complexe du temps et propose de parler plutôt de *process*

Dans les années 1924-1930, un philosophe et mathématicien important a bien vu cette complexité du temps et a bâti à partir de là toute une approche métaphysique de la nature. Je veux parler d'Alfred North Whitehead. Pour éviter toute confusion entre les diverses acceptions courantes du mot « temps », il a proposé le mot *process* pour parler dans un sens global de ce moteur fondamental de la nature, à l'origine non seulement des changements dans le monde, de la causalité mais aussi de la nouveauté dans le passage de la potentialité à l'actualité, à la base du temps physique comme du temps de la conscience. Le mot *process* est difficile à traduire en français ; on le traduit parfois par le mot « procès » ou par celui de « processus » qui sont des traductions approchées et pour ma part je préfère ne pas y toucher et le laisser dans sa langue originale.

Whitehead est né en 1861 et est mort en 1947. Il a beaucoup travaillé d'abord à Cambridge, collaborant notamment avec son ancien élève devenu ami Bertrand Russell pour l'écriture à deux mains des *Principia Mathematica*, une œuvre en trois volumes publiée de 1910 à 1913 et devenu une référence en logique mathématique. En 1910 il s'est déplacé à Londres, où il a occupé des chaires professorales à l'*University College of London* et à *Imperial College*. Entre temps, comme bien des mathématiciens et physiciens de renom, il s'intéresse de plus en plus à la philosophie des sciences, au point d'être invité, en 1924, à occuper la chaire de philosophie de Harvard et de commencer une nouvelle carrière en Amérique.

Cependant, on peut retracer l'origine de son intuition métaphysique aux discussions engagées avec Bertrand Russell pour la rédaction des *Principia*. Il s'agissait de dégager le statut du *point* d'espace dans la géométrie. Whitehead voulait que leur ouvrage de logique mathématique ne s'appuie que sur des données sensibles et évidentes pour la perception humaine. Whitehead faisait donc remarquer à Russell que le point d'espace ne fait pas partie des données sensibles. C'est une abstraction mathématique. Dans la réalité, on ne perçoit jamais que des régions d'espace, plus ou moins étendues, et le point n'est construit que par un passage à la limite hautement abstrait. Donc pour lui la géométrie ne doit considérer dans ses fondements que des régions, à l'image du cercle de gauche dans la figure 3, au centre duquel on a inscrit un petit cercle qu'on exclue de la réalité, ne serait-ce que parce qu'il est trop petit pour être appréhendé. De la sorte, la région réelle à considérer est celle comprise entre les deux cercles. On peut maintenant réduire à volonté par homothétie la figure : quelque petite que soit la région, elle exclue toujours le point mathématique. C'est un peu comme cela que Whitehead concevait l'espace fondamental, construit par ce qu'il a appelé l'*abstraction extensive* : composé de régions mais non pas de points.

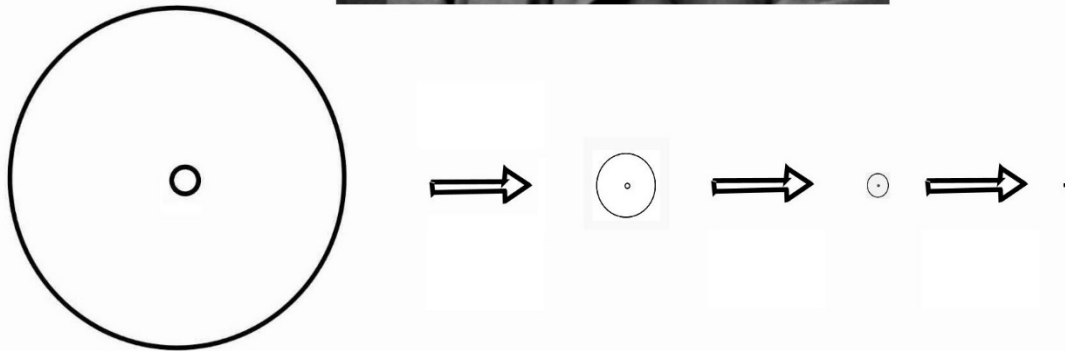


Figure 3 : Alfred North Whitehead (1861-1947), mathématicien puis philosophe, a consacré la seconde partie de sa vie à bâtir une métaphysique de la nature et du temps (ou plutôt, dans sa terminologie, du *process*) qui tient compte de sa complexité réelle et soit compatible avec les acquis de la science de son temps.

Comme on peut s'y attendre, bientôt Whitehead réalisa qu'il ne fallait pas s'arrêter en si bon chemin. Réfléchissant un soir de septembre 1911 au statut physique de l'espace tout en corrigeant des épreuves du second volume des *Principia Mathematica*, il eut une illumination : il fallait rétablir la symétrie entre l'espace et le temps et traiter le temps comme il avait traité l'espace, donc rejeter l'existence concrète des points de temps, c'est-à-dire des instants, comme il avait rejeté l'existence concrète des points d'espace. Dès le lendemain matin, il écrivit cette lettre enthousiaste à Bertrand Russell : « La nuit dernière, quand j'étais sur le point de finir les révisions, 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, au 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 ».

On peut penser que parmi les raisons qui ont poussé Whitehead à faire ce pas et à s'y tenir, deux ont eu une importance capitale. Tout d'abord il s'est souvenu de sa lecture des Principes de Psychologie de William James, qui consacre en fait de longues pages à la discussion de la durée du présent psychologique, ce qu'il a appelé « le présent spécieux ». Le monde n'est jamais donné à la conscience comme un instantané, il est construit dans une durée que les recherches de psychophysiologie moderne estiment à environ 500 ms. C'est approximativement le temps pendant lequel le cerveau construit, à partir des données sensorielles mais aussi du contenu de sa mémoire,



le présent vécu du sujet, qui n'est pas nécessairement une image tout à fait fidèle de la réalité qui l'entoure. C'est ainsi que dans *An Enquiry concerning the Principles of Natural Knowledge*, publié en 1919, Whitehead écrit : « 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 spacieux, 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 [et mathématique de Newton] est tout autant une monstruosité métaphysique que ne l'est l'espace absolu ».

La deuxième raison, développée dans les années qui suivirent, a trait à la mécanique quantique. En effet, comme il est aujourd'hui bien connu, la mécanique quantique représente un système physique par une onde quantique, et dit que lorsqu'on désire connaître, et donc mesurer, la valeur prise par un paramètre de ce système, en général au cours de la mesure sa fonction d'onde subit un brusque changement, que l'on qualifie de « réduction du paquet d'ondes ». La continuité de l'évolution d'un système, la trajectoire d'un mobile en mouvement, semble donc brisée. Dans son livre *La Science et le Monde Moderne*, paru en 1925, Whitehead explique : « 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. »

En fait, les images qu'utilise Whitehead dans ce texte ont une contrepartie très concrète dans la réalité. Je veux parler des images de trajectoires de particules atomiques électriquement chargées dans ce que l'on a appelé une chambre à brouillard, un détecteur de particules développé à la même époque par le physicien Charles Wilson. Une chambre à brouillard est une boîte vitrée dans laquelle est introduite un gaz à une pression partielle proche de sa valeur de condensation. Les particules chargées qui la traversent, par exemple provenant des rayons cosmiques, ionisent ce gaz et provoquent la formation de bulles de brouillard le long de leur trajectoire. En plaçant la chambre de Wilson dans l'entrefer d'un électroaimant, on peut observer la courbure des trajectoires sous l'influence du champ magnétique de l'électroaimant et en déduire la vitesse des particules en question. Or, comment se présente la trajectoire de ces particules dans une chambre à brouillard ? Précisément, comme une suite discontinue de bulles, tout à fait comme Whitehead décrit dans son livre la trajectoire d'une automobile « quantique ». La figure 4 est un exemple de cliché pris dans une telle chambre. Il montre au centre la collision d'un positron (électron positif, arrivant par le bas) avec un électron atomique, résultant dans la déflexion du positron 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 permettent de construire par interpolation la trajectoire supposée des différentes particules en jeu. Chaque gouttelette est en fait, du point de vue de la mécanique quantique, une mesure de la position, et il n'y a rien entre deux gouttes.

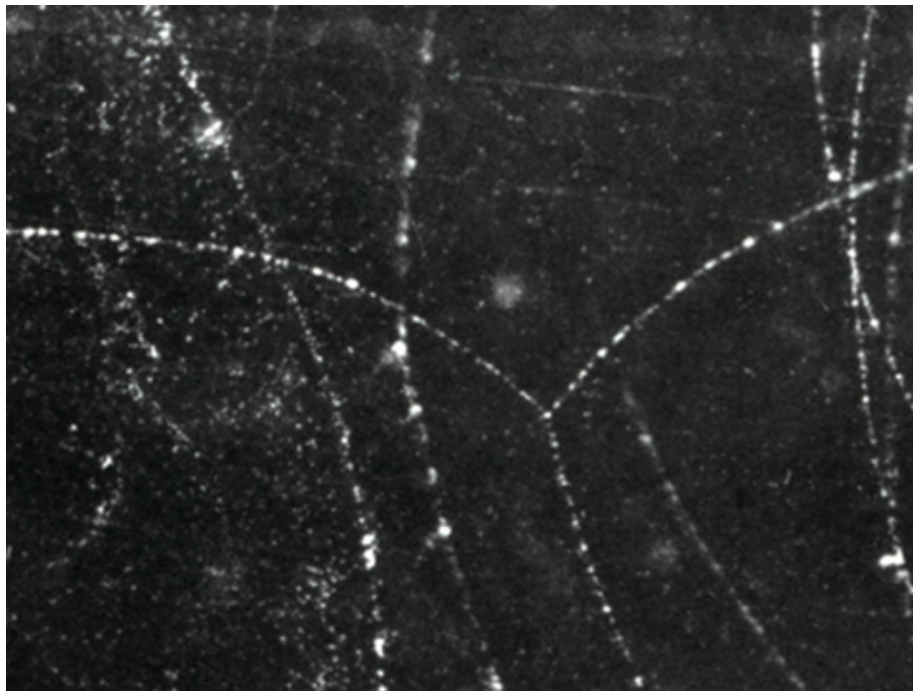


Figure 4 : Cliché pris dans une chambre à brouillard, permettant de visualiser la trajectoire de particules élémentaires dans un champ magnétique. Ces trajectoires ne sont pas continues, mais formées d'un chapelet de gouttelettes séparées entre lesquelles on interpole une trajectoire imaginaire.

3.4 Comment Whitehead décrit la réalité concrète : *Process and Concrecences*

Comme on l'a dit, en 1924 Whitehead a été invité à venir à Boston pour devenir Professeur de Philosophie à Harvard. Dans ses années américaines, il a poursuivi la construction de sa conception du monde, qui est une conception métaphysique sans aucun doute, mais qui soit compatible à la fois avec la mécanique quantique, la relativité, et la conception du temps telle que nous la comprenons et la vivons. Et surtout, qui explique et tienne compte de la spécificité du présent.

Pour Whitehead, le *process* est analogue à une succession de vibrations. Chaque vibration permet la cristallisation d'une nouvelle réalité concrète. Mais une vibration ne peut être telle que lorsqu'au moins une période complète a été réalisée, comme la hauteur de son d'une note de musique ne peut être connue que lorsque sa période s'est achevée ; nous vivons dans une suite de cristallisations du réel, ou, comme le dit Whitehead, de « concrecences ». L'évolution du monde est donc, selon lui, une suite indéfinie de concrecences qui adviennent, vivent et périssent. Et chaque concrecence en advenant apporte avec elle une parcelle de temps, infime peut-être, mais finie.

La première et plus importante conséquence de la disparition des instants comme éléments fondamentaux du temps est que le *process* est désormais compris comme non continu. La réalité concrète est une succession de cristallisations. Dans cette succession, il y a de la place pour l'apparition de nouveautés avec chaque cristallisation, chaque goutte de *process*. Dans le décours apparemment déterministe des événements, il y a à chaque concrecence la possibilité d'apparition de bifurcations. Car le *process* n'est pas continu et la trajectoire hachée des événements dans l'espace-temps n'est donc pas mathématiquement dérivable. Tout cela, c'est quelque chose qui consonne très bien avec la Mécanique Quantique.



Donc, en fait, pour Whitehead l'univers *en soi* reste toujours au niveau de la potentialité, mais se concrétise en une suite de concrescences qui adviennent en dehors du temps. Ces concrescences font que l'univers devient une réalité concrète au sens où nous l'entendons, c'est-à-dire devient observable par nous. Non seulement l'univers comme un tout, mais chaque objet autour de nous passe par la même suite de concrescences. Un électron concret est le résultat d'une concrescence, une horloge ou une chaise de même, et l'univers entier tout autant.

La concrescence ne prend pas place dans le temps, parce que le temps comme nous le comprenons est continu et est en fait, une abstraction élaborée à partir du *process*, qui, lui, est le vrai moteur de l'évolution. Notre temps est une sorte d'enveloppe obtenue pour ainsi dire en surfant sur la séquence ultra rapide des concrescences, négligeant les petits accidents qu'elles constituent, juste comme les physiciens construisent la trajectoire d'un électron dans une chambre à brouillard en traçant une ligne continue au travers du chapelet de gouttelettes qu'il a laissé dans la chambre. Chaque concrescence constitue un évènement élémentaire qui entraîne l'apparition d'une parcelle d'espace-temps, donc de temps.

Vers quoi le *process* nous entraîne-t-il ? Vers quoi entraîne-t-il le monde ? Y-a-t-il une tendance, une téléologie dans ces successions de concrescences avec les apparitions de nouveauté qu'elles occasionnent ? Whitehead le pense et s'en explique, dans *Process and Reality*, le livre majeur qu'il publie en 1929 : « La Concrescence est le nom du *process* par lequel les diverses choses du monde acquièrent une unité globale, en abandonnant leur individualité propre pour la constitution d'une nouvelle unité globale. » (Whitehead, 1929, p. 211). Dans cette globalisation rendue possible, c'est un principe d'harmonie, voire de beauté qui entre en jeu. La beauté à laquelle nous sommes sensibles est pour Whitehead un signe de l'avancement du monde.

3.5 Comment les objets persistent : préhensions and causalité.

Dans cette vue imagée du monde, que reste-t-il du temps newtonien ? Est-ce que les lois newtoniennes du mouvement, qui fondent la science de la Mécanique, sont invalidées ? Non, naturellement. Le temps mathématique est une abstraction, mais c'est une abstraction utile, grâce à sa propriété de continuité : c'est un outil pratique, particulièrement pour les ingénieurs et les hommes de science. Elle permet, comme Newton et Leibniz l'ont fait les premiers, de considérer les dérivées premières par rapport au temps — les vitesses — ou les dérivées secondes — les accélérations — comme des propriétés physiques quantitatives. Mais pourquoi, si les instants de temps n'existent pas, les lois de Newton sont-elles si efficaces pour prédire les états futurs des systèmes ? Qu'en est-il de la causalité ?

La réponse donnée par Whitehead est que la concrescence d'un évènement local, bien qu'elle permette l'apparition d'une certaine dose de nouveauté, est toutefois énormément contrainte, non seulement par ses propres états de concrescences antérieurs, mais aussi par les relations tissées avec un très grand nombre d'évènements locaux (Whitehead les appelle des « entités actuelles », voire des « occasions actuelles »). Ce tissu de relations, ou plus précisément de *préhensions* selon la terminologie Whiteheadienne, est tellement dense qu'elle permet en première approximation de dériver les lois classiques et déterministes d'évolution. Pour rendre les choses un peu plus concrètes, songez à l'atome d'hydrogène, constitué d'un proton et d'un électron maintenu en orbite autour du proton par l'attraction électrique entre ces deux particules de charge opposées. Le champ électromagnétique entre ces particules est la forme pratique que prend la préhension entre ces deux objets quantiques. Par là il peut décrire ce que c'est que la causalité. C'est ce filet jeté par les préhensions par-dessus les évènements du monde, qui forme la mémoire du monde, la mémoire des objets matériels et de leur état aux temps antérieurs.

Ainsi, la théorie de Whitehead, tout en révélant le statut complexe du présent, nous décrit un monde plus proche des enseignements de la physique contemporaine. Le *process* est discontinu mais notre temps à nous est continu, parce que nous surfons sur ces concrescences successives. Le temps de la physique est une abstraction, mais une abstraction utile. Il faut néanmoins comprendre que c'est une abstraction. Le *process*, le temps pris dans un sens large, est plus complexe. Si on ne comprend pas cela, il semble impossible de réconcilier la mécanique quantique et la relativité.

Parlons maintenant de la Relativité. Je l'ai déjà dit, comme pour la Relativité einsteinienne, Whitehead considère que la structure de l'univers ne peut se décrire que dans l'espace-temps (Whitehead préfère l'appeler le « continuum extensif »), lequel est tissé par les événements, les concrescences qui apportent leur poussière de régions spatiale et temporelle. Il a d'ailleurs développé en 1922 une théorie de la relativité générale concurrente de celle d'Einstein, en ce sens qu'il y traite d'une façon différente de la gravitation. En fait, il refusait d'admettre que la gravitation puisse déformer l'espace-temps et préférait traiter cette dernière comme une force au sens classique du terme, autrement dit comme des préhensions particulières. A son époque, il a pu penser que sa théorie était tout aussi puissante que celle d'Einstein, car elle répondait aussi bien que cette dernière aux tests alors connus de la relativité : la prédiction précise de la déviation des rayons lumineux rasant le bord du soleil, et la précession du périhélie de la planète Mercure. On sait aujourd'hui que ce travail de Whitehead ne fut pas très heureux, car les prédictions de sa théorie ne résistent pas aux expériences plus détaillées abordables aujourd'hui, tandis que la relativité générale d'Einstein résiste remarquablement bien à ces tests. Le système d'équations que Whitehead a proposé n'étaient donc pas le bon ; les bonnes équations, il ne les a pas trouvées, et il reste aux physiciens théoriciens à les découvrir. Si l'on suit l'intuition de notre auteur, il faudra de toute façon réformer la relativité einsteinienne, ne serait-ce que pour donner de la granularité à l'espace-temps. Vous savez que c'est aujourd'hui un champ de recherche très actif en physique théorique.

IV CONCLUSION

La métaphysique de la nature, et en particulier l'approche whiteheadienne du temps, peut aujourd'hui rester, à mon avis, une source d'inspiration très utile pour les physiciens comme pour les philosophes. En physique, elle est certainement incomplète. La notion de *process* qu'il a développée à ce mérite énorme de faire comprendre la spécificité du présent, ce que la théorie physique actuelle ne fait absolument pas. Comme la Mécanique Quantique, elle décrit un monde potentiel et solidaire, acquérant la qualité d'être concret par cristallisations ou concrescences successives. Whitehead a insisté sur cette solidarité du monde si bien mise en évidence par les démonstrations récentes de l'inséparabilité quantique (tout objet quantique qui a interagi une fois dans son existence avec un autre objet quantique ne peut plus désormais — sauf situations exceptionnelles -- être décrit que comme un système global et non comme deux systèmes séparés). Toutefois, il n'a pas songé à introduire dans sa théorie la possibilité d'états quantiques superposés, comme le fait la théorie actuelle, qui seule permet donc de rendre compte de ces effets d'inséparabilité. Très en avance sur son temps, il a proposé une description granulaire de l'espace-temps, et une description de sa structure causale, mais le formalisme qu'il a adopté pour sa description de la relativité ne l'a pas conduit à un plein succès. Les portes restent ouvertes pour de nouvelles et fécondes intuitions, tant en physique qu'en philosophie. J'ai soutenu, par exemple, que sa philosophie de la nature, avec la discontinuité du temps qu'elle introduit, peut permettre de comprendre comment le libre arbitre de l'homme peut coexister avec le déterminisme des activités neuronales des réseaux neuronaux de notre système nerveux central (*Whitehead, Philosophe du Temps*, CNRS Editions, à paraître). La notion de *process* qu'il a essayé de développer a par ailleurs ce mérite énorme d'introduire dans la description du monde et de faire comprendre ce qu'est la spécificité du présent. La théorie physique actuelle ne le fait absolument pas, et nous avons vu qu'à



la fin de sa vie Einstein le regrettait. Sur ce point Whitehead nous a livré, je crois, une description du temps dans sa complexité, ou plus exactement du *process* qui gouverne le monde, plus juste que celle que tant de penseurs, philosophes ou physiciens ont cru pouvoir nous donner jusqu'ici.

RÉFÉRENCES

Bergson H. (1896) *Matière et Mémoire*. Edition Presses Universitaires de France (2012)

Einstein A. (1916) *La relativité*. Poche Sciences, Petite bibliothèque Payot 1990.

James W. *Principes de psychologie* [*The Principles of Psychology*] (trad. de l'anglais) (1^{re} éd. 1890), 2 vol. (ISBN 0486203816 et 9780486203812, archive).

Langevin P. (1911) *Le paradoxe des jumeaux. Deux conférences sur la relativité*. Presses Universitaires Paris Nanterre

Whitehead A.N. (1910) *Principia Mathematica*. Edited by Russel B. in 2015-Scholar Select.

Whitehead A. N. (1919) *An enquiry concerning the principle of natural knowledge*. Cambridge University Press 2011.

Whitehead A. N. (1925) *La science et le monde moderne*. Editions du Rocher, collection le monde et la matière, 1994.

Whitehead A. N. (1929) *Process and reality*. Editon Griffin & Sherburne (1979).