

Temps des philosophes, temps des physiciens, temps des mathématiciens

Fabien Besnard

9 juin 2010

Résumé

La question de la compatibilité du présentisme et du possibilisme avec la Relativité a fait couler beaucoup d'encre depuis l'argument initialement proposé par Rietdijk et Putnam. L'objectif de ce texte est d'étudier les implications de la Relativité, Restreinte et Générale, ainsi que de la Mécanique Quantique, sur le présentisme, le possibilisme et l'éternalisme, en dégagant clairement les présupposés métaphysiques sous-jacents à ces trois approches de la question du temps. Nous montrons qu'il existe une unique version du présentisme qui soit à la fois non triviale, dans le sens où elle ne réduit pas la notion de présent à un unique événement dans l'espace-temps, et compatible avec la Mécanique Quantique et la Relativité Restreinte : celle qui identifie le présent d'un observateur en un point à son cône de lumière du passé en ce point. Cependant cette compatibilité ne peut être atteinte qu'en renonçant à la notion d'une réalité objective indépendante de l'observateur. Nous donnons également des arguments permettant de conclure qu'aucune notion non triviale de présentisme ne parvient à survivre aux assauts de la Relativité Générale, tandis qu'une version du possibilisme, à condition d'accepter l'hypothèse d'Hawking de protection de la chronologie, passe cette épreuve. Nous remarquons que les théories physiques évoquées ci-dessus contraignent le présentiste à rétrécir et à fragmenter sa vision de la réalité, tandis que de son côté, l'éternaliste se doit de l'augmenter afin d'être compatible avec les prédictions de la théorie quantique. Enfin, en identifiant les mathématiques comme le « deus ex machina » permettant à l'éternaliste d'unifier sa vision de la réalité au sein d'une structure globale cohérente, nous lui proposons un « marché idéaliste » : accepter une ontologie mathématique en échange d'une assurance de survie face à toute théorie physique.

1 Introduction

Il existe de nombreuses questions philosophiques à propos du temps. Une des plus fameuses est celle-ci : les événements présents sont-ils les seuls réels, ou les choses passées, voire futures le seraient-elles également ? On qualifie de *présentiste* la position qui consiste à affirmer que seul le présent est réel. La théorie selon laquelle tout ce qui est passé, présent ou futur existe est parfois appelée théorie B, théorie de l'univers bloc, ou encore *éternalisme*. C'est cette dernière terminologie que nous adopterons dans ce texte. Enfin, selon la théorie de l'univers en croissance, ou *possibilisme*, le présent et le passé existent, mais pas le futur.

Cette question est-elle purement métaphysique ? Elle a en tout cas des implications éthiques (comme sans doute toute métaphysique). On peut faire ici allusion aux discussions sur la prédestination qui ont beaucoup agité les théologiens. L'éternalisme a le pouvoir d'annuler la peur de la mort, aux yeux de certains en tout cas¹. Mais il ouvre des perspectives inquiétantes : n'est-il pas légitime d'arrêter un criminel en puissance *avant* la commission de tout acte maléfaisant, comme dans la nouvelle de Philip K. Dick *Minority Report* ?

Le présentisme est peut-être la philosophie « spontanée » du temps, celle de M. Tout-le-monde. Ce qui est passé n'existe plus, ce qui est futur n'est pas encore, seul ce qui est présent existe. Le temps passe, dévorant les choses et les êtres. À l'appui de cette théorie on peut citer l'évidence intuitive du

1. « People like us, who believe in physics, know that the distinction between past, present and future is only a stubbornly persistent illusion. », lettre d'A. Einstein à la famille de M. Besso après la mort de ce dernier, en mars 1953. Cité dans [4], ch. 17.

passage du temps, le refus de postuler l'existence d'entités qui ne sont pas nécessaires à la description du réel (on peut rechercher des traces du passé ou tenter de prédire le futur, mais tout ceci se fait au présent), et également la possibilité de voyager dans l'espace mais pas dans le temps : on peut se déplacer vers le Nord, le Sud, l'Est ou l'Ouest, le haut ou le bas, mais ni vers le futur, ni vers le passé. On pourrait rétorquer que nous nous déplaçons bien vers le futur, mais selon le présentisme, c'est le temps qui passe, pas nous. En un mot, le temps n'est pas une dimension.

L'argument principal du possibilisme est que le futur est censé être ouvert, tandis que le passé est fixé, insensible à toute action présente. Cette théorie reprend également à son compte la notion de passage du temps.

L'éternalisme est d'emblée confronté à un problème : comment rendre compte du passage du temps ? Selon ce point de vue, le passage du temps est une notion purement subjective. On peut le comprendre grâce à une analogie. Imaginons que nous disposions d'un certain nombre de robots dont l'esprit et la mémoire puisse être entièrement programmés. Ces robots sont alignés, placés régulièrement tous les 10 mètres, et la mémoire de chacun est programmée pour contenir celle du robot qui le précède immédiatement. Chaque robot s'éveille à la conscience avec la mémoire du précédent, et prend connaissance de son environnement particulier. Il est clair qu'il aura la sensation de s'être déplacé jusqu'à sa position actuelle, alors qu'en réalité il n'y a aucun déplacement. Selon l'éternalisme, le passage du temps est une expérience subjective similaire².

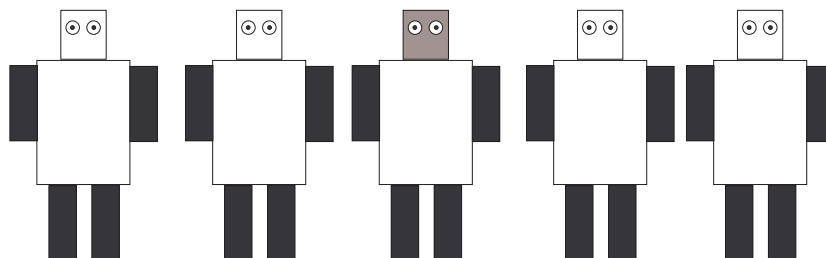


FIGURE 1 – « L'expérience des robots ». Le robot du milieu prend conscience de son existence, avec le contenu mémoriel de son voisin de droite immédiat.

L'éternalisme semble être une doctrine furieusement idéaliste, et il y avait assez peu d'arguments convaincants en sa faveur avant l'intervention de la théorie de la Relativité³. Cette dernière a pourtant tout changé, à tel point que l'éternalisme semble aujourd'hui la théorie la plus populaire chez les scientifiques et les philosophes ([21]). Nous verrons pourquoi en passant en revue un argument « massue » issu de la relativité restreinte : l'argument de Rietdijk-Putnam.

Mais pour comprendre les implications de la relativité sur le présentisme, encore faut-il disposer d'une définition opérative de ce point de vue. Et ce n'est pas la moindre des difficultés. En effet, une des conséquences du présentisme est que les assertions du type « X existe », ou encore « X est présent », « X est passé », ont une valeur de vérité qui évolue avec le temps. Dans un papier célèbre ([11]), McTaggart a pointé les contradictions introduites par cette « série A », ce qui l'a conduit à affirmer que le temps n'existait pas. Il me semble que ces contradictions illustrent surtout la difficulté qu'il y a à donner un sens précis au présentisme, qui apparaît comme une intuition très difficile à formuler. En fait on ne peut guère la formuler qu'au sein d'une théorie physico-mathématique dans laquelle le présent fait partie d'une entité plus vaste, l'espace-temps. D'une certaine manière le présentisme ne peut être formulé qu'en employant les armes de ses adversaires, et c'est l'une de ses faiblesses. Bien sûr, pour le présentiste, ces armes ne sont que des outils, parmi lesquels il faut distinguer soigneusement ceux qui ont trait à la réalité, et ceux qui font seulement partie du formalisme physico-mathématique.

Une fois cette définition donnée, nous verrons que l'argument de Rietdijk-Putnam ne « tue » pas purement et simplement le présentisme, comme il est dit parfois, mais l'oblige à incorporer des

2. In Hermann Weyl's words ([24]), « Only the gaze of my consciousness, crawling upwards along the life line of my a body, does a section of this world come to life as a fleeting image in space which continuously change in time. »

3. Cf [2].

éléments contre-intuitifs. Il le précise, tout en changeant subtilement sa nature.

Les discussions sur le présentisme et l'éternalisme s'en tiennent souvent à la relativité restreinte. La physique ne s'est toutefois pas arrêtée en 1905 ! Deux autres révolutions, la Relativité générale et la mécanique quantique, auxquelles il faudrait peut-être ajouter une troisième, la théorie quantique des champs, sont venues bouleverser la donne. Nous verrons que dans l'espace-temps de la relativité générale, le présentisme devient une doctrine très inconfortable, voire se dissout totalement si certaines solutions de la théorie, ou certaines topologies de l'espace-temps sont envisagées. Cependant nous constaterons que l'éternalisme ne semble pas à première vue se porter mieux dans le monde quantique. . .

Si nous en restions là, l'issue du questionnement physico-philosophique serait reportée à l'éclosion de la gravité quantique. Ce serait faire peu de cas du rôle que les mathématiques jouent dans ce débat. Nous essaierons de montrer que ce rôle est majeur : les mathématiques fournissent toujours une porte de sortie à l'éternaliste, à condition que celui-ci adopte une certaine ontologie, c'est-à-dire une réponse claire à la question de savoir ce que l'on entend par « la réalité ». On ne peut de toute façon pas éluder ce problème. Ce dont nous nous apercevrons, c'est que la question du temps apparaît bien moins problématique qu'on ne le croit habituellement lorsqu'on dispose d'une définition suffisamment efficiente de ce qui est réel.

2 Une définition du présentisme

La définition du présentisme qui nous apparaît à la fois la plus simple et la plus directement applicable est celle-ci : le monde a fondamentalement 3 dimensions, toutes spatiales, et les choses évoluent à l'intérieur de celui-ci⁴. Selon cette doctrine, l'espace-temps de la Relativité (ou de toute autre théorie utilisant une représentation quadridimensionnelle du monde) n'est rien d'autre qu'un artefact mathématique. À un instant donné, par exemple celui où vous lisez ces lignes, seul un sous-ensemble de dimension 3 de l'espace-temps représente la réalité, c'est-à-dire le présent. Tous les autres points ont un caractère fictif, peut-être utile au sein de la théorie, mais qui ne correspondent à rien de réel.

La phrase « À un instant donné, seul un sous-ensemble de dimension 3 de l'espace-temps représente la réalité » mérite une discussion. Dans la figure 2, le sous-ensemble en question est très particulier puisqu'il s'agit d'un hyperplan. D'un autre côté, l'expression « sous-ensemble de dimension 3 » est trop vague, puisqu'il faut un minimum de structure sur un ensemble pour parler de sa dimension. Nous précisons par la suite le type de sous-ensemble qu'il est possible de considérer comme représentation du monde selon la doctrine présentiste. Il convient de garder l'esprit ouvert : définir a priori le sous-ensemble induirait une interprétation particulière du présentisme. Il nous faudra aussi préciser ce qu'on entend par « un instant donné ». Ici la théorie de la relativité nous donnera une réponse claire.

Le passage du temps peut-être illustré graphiquement par une suite de diagrammes, ou mieux par un petit film dans lequel les emplacements successifs du présent dans le diagramme d'espace-temps sont indiqués. Selon le possibilisme, toute la trace que la représentation du présent laisse au cours de son mouvement dans l'espace-temps est une représentation du réel.

Notons qu'il n'y a aucune contradiction logique à utiliser un mouvement réel (celui de la représentation du présent sur l'écran) pour représenter le passage du temps. Nous n'avons pas introduit subrepticement un second temps : nous avons simplement paramétré l'évolution de notre représentation du présent, c'est-à-dire le passage du temps.

3 Présentisme et Relativité Restreinte

3.1 L'argument de Rietdijk-Putnam, ou le paradoxe d'Andromède

Il est de notoriété publique que le présentisme est difficilement compatible avec la Relativité⁵.

4. Je laisse ici de côté la question de savoir si le temps n'est rien d'autre que cette évolution.

5. Dans cette brève évocation de l'histoire des réflexions sur le présentisme issues de la Relativité, nous reprenons quelques exemples cités dans [14]

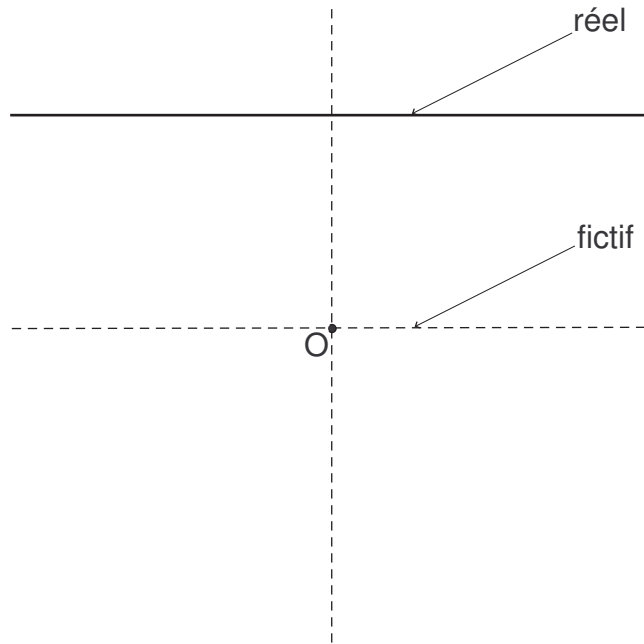


FIGURE 2 – Seul le présent est réel.

Cependant, si Minkowski présente dès 1908 le point de vue de l'univers-bloc comme une conséquence inéluctable de la relativité⁶ ([13]), Einstein ne semble s'être rangé à cet avis que très tardivement. En 1952, il s'exprime à ce sujet, avec beaucoup de prudence, dans la cinquième appendice de la quinzième édition de son livre sur la théorie de la relativité restreinte et générale : « *Et comme il n'y a plus dans cette structure à quatre dimensions de coupes qui représentent objectivement le "maintenant", la notion du devenir ne disparaît certes pas complètement, mais devient cependant plus compliquée. Il paraît, par conséquent, plus naturel de se représenter la réalité physique comme un être à quatre dimensions au lieu de se la représenter, comme on l'a fait jusqu'à présent, comme le devenir d'un être à trois dimensions.* ».

Dans le champ plus purement philosophique, le premier argument ayant pour but spécifique de démontrer que le présentisme est incompatible avec la relativité restreinte est dû à Rietdijk en 1966 ([18]), ce qui peut paraître étonnamment tardif. Il est repris par Putnam l'année suivante. Dans la version plaisante imaginée par Penrose, que nous reproduisons ci-dessous, il est connu sous le nom de « paradoxe d'Andromède ». Deux observateurs, \mathcal{A} et \mathcal{B} , se croisent en un point O de l'espace-temps. Leur vitesse relative est de 4 km/h. L'observateur \mathcal{A} marche en direction de la galaxie d'Andromède, et \mathcal{B} en direction opposée. Dans l'hyperplan de simultanéité de \mathcal{A} on trouve l'événement M : une flotte de vaisseaux hostiles décolle d'Andromède pour envahir la Terre. Pour \mathcal{B} l'événement M n'aura lieu que dans plusieurs jours : la décision d'envahir la Terre n'a peut-être même pas été prise par les Andromédiens.

Que nous apprend le paradoxe d'Andromède sur le présentisme ? Selon certains ([14]), il est simplement réduit à une absurdité : le paradoxe d'Andromède, et d'autres effets de la relativité restreinte ne seraient compatibles qu'avec l'éternalisme. L'article de Savitt ([21]) passe en revue les réponses de certains présentistes face à ce problème. Le moins qu'on puisse dire est qu'elles ne sont pas très convaincantes. Par exemple pour Arthur Prior⁷, le paradoxe montre que la Relativité est incomplète, rendant uniquement compte de certaines possibilités physiques, ou de certaines apparences (un point

6. « *Henceforth space by itself, and time by itself, are doomed to fade away into mere shadows, and only a kind of union of the two will preserve and independent reality.* »

7. Voir [15]. Voir aussi Craig ([3]), et la réfutation de Balashov et Janssen ([1]).

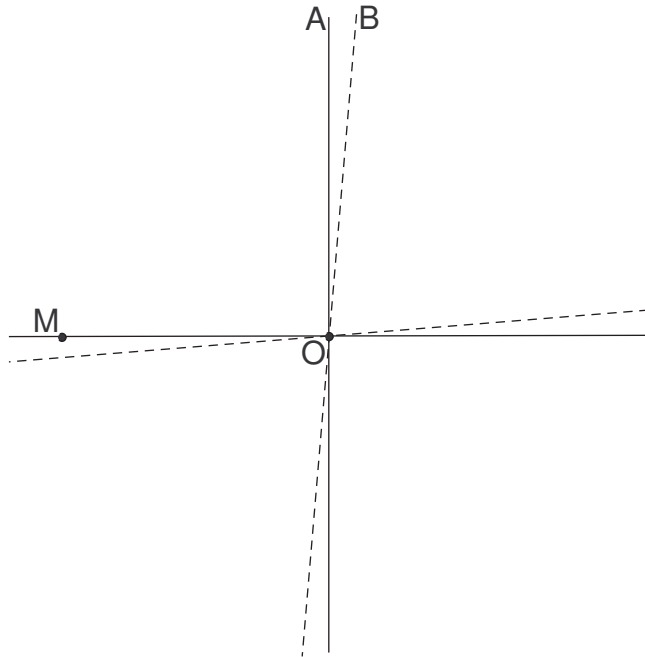


FIGURE 3 – Le paradoxe d’Andromède

de vue qu’on pourrait sans doute rapprocher de celui de Bergson). Il s’agit donc d’un repli sur des positions néo-Lorentziennes, empiriquement et théoriquement intenables.

Tâchons d’y voir plus clair à l’aide de la définition du présentisme que nous avons énoncée plus haut. Selon le présentisme tel que nous l’avons défini, tout ce qui existe existe simultanément. Ainsi on peut dire que, selon cette doctrine, ce qui est réel pour \mathcal{A} lorsqu’il est en O est ce qui est simultanément avec O pour lui. La simultanéité étant relative, la conséquence logique de la théorie de la relativité pour le présentisme est de rendre relative la notion de réalité⁸. Le paradoxe d’Andromède l’illustre, et souligne un autre phénomène : un événement, tel que M , peut être présent, donc réel, pour un observateur mais pas pour un autre, alors qu’ils sont tous les deux au même point de l’espace-temps. Il s’en suit que le concept de réalité doit prendre la forme d’une relation, définie de la façon suivante :

$$MR_{\mathcal{B}}O \Leftrightarrow \ll \text{l'événement } M \text{ est réel pour } \mathcal{B} \text{ lorsque celui-ci est en } O \gg \quad (1)$$

Il s’agit d’une relation entre événements, qui dépend de l’observateur. L’événement de gauche est quelconque, celui de droite appartient à la ligne d’univers de l’observateur. Notons que nous ne pourrions pas écrire quelque chose comme $\ll \mathcal{A}$ est réel pour $\mathcal{B} \gg$. En effet un observateur est représenté dans l’espace-temps par toute sa ligne d’univers. Autrement dit, on ne peut pas dire \ll Newton est réel pour Galilée \gg , il faut préciser les points sur les lignes d’univers, c’est-à-dire parler en termes d’événements. Par exemple on pourra dire, à une approximation près, que Newton au moment de sa naissance est réel pour Galilée à l’instant de sa mort. Cela conduit à alourdir le langage et les notations, mais c’est une nécessité.

Nous voyons que l’argument de Rietdijk-Putnam ne réduit pas le présentisme à une contradiction logique, mais à une forme élaborée de solipsisme. On peut s’en accommoder, à condition de bien être conscient de toutes les conséquences sur la notion de réalité.

Par exemple, si M est la mort de Galilée (observateur \mathcal{A}), et N la naissance de Newton (observateur

8. C’est bien la raison du choix du nom donné par Albert Einstein à sa théorie, choix qu’il a regretté plus tard. Ce choix se comprend parfaitement du point de vue présentiste/tridimensionnel, mais il est malheureux du point de vue éternaliste/quadrimensionnel mis en avant par Minkowski.

\mathcal{B}), alors pour peu que l'un ait une vitesse non nulle par rapport à l'autre

$$NR_{\mathcal{A}}M \not\approx MR_{\mathcal{B}}N$$

Ce que le paradoxe d'Andromède nous apprend, c'est que même si un point O appartient à la fois à la ligne d'univers de deux observateurs, en général on a

$$MR_{\mathcal{A}}O \not\approx MR_{\mathcal{B}}O$$

Il est peut-être difficile de concevoir une notion de réalité qui s'accorde avec ces propriétés. Cependant, on aura noté que l'argument utilise une notion particulière, bien que très naturelle, de simultanéité : celle qui découle de l'utilisation d'un référentiel d'inertie. On peut se demander si cette définition de la simultanéité, qui correspond au choix d'un sous-ensemble de dimension 3 très particulier de l'espace-temps comme « présent », est la seule possible, ou si une autre ne pourrait pas donner de meilleurs résultats dans l'optique du présentisme.

Il faut noter ici que dans de nombreux travaux qui tendent à montrer que le présentisme est incompatible avec la relativité ([16], [14], [22], [20]), l'idée que la réalité puisse être relative à l'observateur est explicitement rejetée. Ce qu'on peut tenir pour certain, c'est qu'il est impossible de soutenir simultanément

1. qu'il existe une réalité objective, indépendante de l'observateur,
2. que toute philosophie du temps doit être compatible avec la Relativité Restreinte,
3. le présentisme.

Ce que font Putnam, Savitt, Saunders, et bien d'autres encore, c'est tenir 1 et 2 pour acquis, ce qui élimine 3. Il nous semble que les philosophes qui tiennent au présentisme ont tendance à éliminer 2. Dans notre argumentation, nous posons les hypothèses 2 et 3, et c'est donc 1 qui doit céder la place.

3.2 Le problème de la définition de la simultanéité dans l'espace-temps de Minkowski

Réfléchissons à la façon dont un observateur \mathcal{A} détermine qu'un événement est réel, c'est-à-dire simultané avec son existence à un instant qu'il définit comme présent.

Une façon de procéder est la suivante : au temps t_1 l'observateur \mathcal{A} émet un rayon de lumière, qui est réfléchi sur un miroir (événement M), et reçu enfin par \mathcal{A} au temps t_2 . Les temps t_1 et t_2 sont mesurés par l'horloge de \mathcal{A} . L'événement M reçoit la coordonnée de temps $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$: il est donc simultané avec l'événement « l'horloge de \mathcal{A} indique t ». Ainsi, au temps t_2 , qui est postérieur à t , \mathcal{A} sait que M était réel quand son horloge marquait t . Si le présent est la réalité, il faut reconnaître que celle-ci est reconstruite : elle ne correspond en aucun cas avec ce que \mathcal{A} perçoit à un instant donné. Ce que nous venons de décrire n'est autre que la convention de Poincaré-Einstein pour synchroniser les horloges. Cette convention permet de fabriquer une coordonnée temporelle t définie sur tout l'espace-temps de Minkowski à partir d'une horloge transportée par un observateur \mathcal{A} . Il existe un débat, remontant à Reichenbach ([17]), sur la question de savoir si la convention de Poincaré-Einstein est bien une convention en relativité restreinte, ou si c'est la seule qui répond à certains critères (pour un tour d'horizon de ce débat, voir [9]). Bien sûr, la nécessité de ces critères est elle-même sujette à débat. . . Les résultats de Malament [12], Sarkar et Stachel [19], et Giulini [7], ont peut-être permis de préciser ce qu'on entend exactement par convention, et présentent un grand intérêt pour la question du présentisme.

Tout d'abord Malament prouve que, étant donnée la ligne d'univers \mathcal{H} d'un observateur inertiel, la seule relation qui soit :

1. une relation d'équivalence,
2. non triviale (tous les points de l'espace-temps ne sont pas équivalents, et au moins un point de \mathcal{H} est équivalent à un point qui n'est pas sur \mathcal{H}),
3. invariante par toutes les bijections de l'espace de Minkowski qui préservent la relation de causalité et stabilisent \mathcal{H} ,

est la relation de simultanéité de Poincaré-Einstein relative à \mathcal{H} .

La dernière demande est interprétée comme la possibilité de définir la relation de simultanéité à partir de la relation de causalité uniquement. Sarkar et Stachel ont critiqué cette interprétation. En

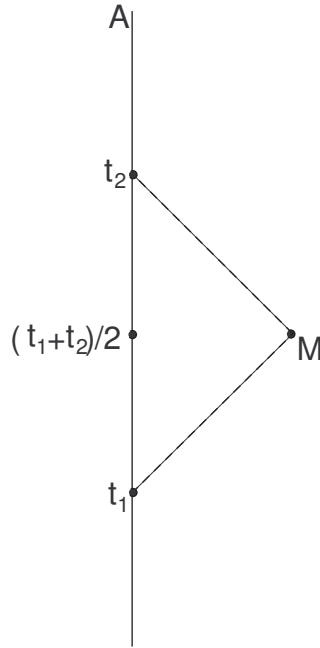


FIGURE 4 – Simultanéité de Poincaré-Einstein (convention standard)

effet, les demi-cônes de lumière sont définissables à partir de la relation de causalité⁹ mais définissent une relation qui n'est pas invariante par réflexion temporelle. En supprimant les réflexions temporelles et spatiales de la liste des bijections de l'espace de Minkowski préservant la relation de simultanéité, Sarkar et Stachel montrent deux résultats importants :

- Théorème 3.1**
1. *La simultanéité de Poincaré-Einstein est la seule relation vérifiant les points précédents et qui de plus, ne dépend pas de H mais seulement de sa direction.*
 2. *Les relations définies par les demi-cônes positifs (resp. négatifs) ayant leur sommet sur H sont les seules qui vérifient les points précédents et qui de plus sont indépendants du mouvement de l'observateur inertiel ayant pour ligne d'univers H .*

Peut-être faut-il expliquer pourquoi les cônes de lumière entiers sont exclus. Tout simplement parce que les cônes de lumière dont le sommet se trouve sur la ligne d'univers d'un observateur inertiel se coupent tous deux à deux. On en déduit que si l'on choisissait de définir la simultanéité de cette manière, tous les événements de l'espace-temps devraient être déclarés simultanés.

Les trois conventions de simultanéité spécifiées par le théorème de Sarkar et Stachel équivalent, pour un présentiste, à trois définitions possibles de la réalité. Ainsi, la relation de réalité introduite en (1) doit être indexée par S , où S est une convention de simultanéité. Posons la notation $MS_{\mathcal{A}}N$, qui signifie que les événements M et N sont simultanés pour l'observateur \mathcal{A} , selon la convention S . Alors on peut écrire :

$$MR_{\mathcal{A}}^S N \Leftrightarrow MS_{\mathcal{A}}N \text{ et } N \text{ appartient à la ligne d'univers de } \mathcal{A} \quad (2)$$

La relation $S_{\mathcal{A}}$ est une relation d'équivalence. On démontre facilement que la relation $\mathcal{R}_{\mathcal{A}}^S$ est antisymétrique et transitive. Convenons d'appeler « réalité de \mathcal{A} en N » l'ensemble des événements

9. Soit e un point de l'espace-temps, et Λ_e le cône de lumière issu de e . Deux points de Λ_e sont sur le même demi-cône issu de e ssi ils ne sont pas causalement reliés ou s'ils sont reliés par un signal ne passant ni par e ni par l'ailleurs de e . Ceci permet de définir les deux demi-cônes constituant le cône de lumière de e . On en choisit un comme étant positif, puis on transporte ce choix à tous les autres cônes de lumière par transport parallèle.

M qui rendent vraie la relation $M\mathcal{R}_A^S N$. Les propriétés des différentes conventions de simultanéité vis-à-vis de la notion de réalité peuvent se résumer comme suit :

- Selon la convention de Poincaré-Einstein, si les lignes d’univers de \mathcal{A} et \mathcal{B} sont parallèles, alors l’ensemble des réalités de \mathcal{A} coïncide avec l’ensemble des réalités de \mathcal{B} . Sinon, aucune réalité de \mathcal{A} ne coïncide avec une réalité de \mathcal{B} , même au point d’intersection des lignes d’univers de \mathcal{A} et de \mathcal{B} dans le cas où celle-ci sont sécantes (paradoxe d’Andromède).
- Selon la convention des demi-cônes positifs ou négatifs, les réalités de \mathcal{A} en N et de \mathcal{B} en M coïncident si, et seulement si $M = N$.

Laquelle de ces trois conventions choisir ? À ce stade, c’est peut-être une affaire de goût, et si c’est le cas, le présentisme est en bien mauvaise posture. Il semble à l’auteur de ces lignes que le choix de la simultanéité définie par les demi-cônes négatifs est le meilleur. En effet, il est bien naturel que la réalité d’un observateur dépende de sa position dans le temps¹⁰ : ce qui est réel pour Napoléon à Waterloo ne l’est pas pour moi en ce moment. Quitte à accepter l’idée que la réalité soit une question de point de vue, il ne paraît pas dramatique que celle-ci dépende en fin de compte de la position de l’observateur dans *l’espace-temps*. Incidemment Sarkar et Stachel indiquent qu’Einstein avait considéré la possibilité de définir la simultanéité de cette manière dans son premier papier sur la relativité, mais l’avait rejetée au motif qu’elle dépendait de la position de l’observateur dans l’espace.

Par ailleurs, si on accepte comme une donnée l’existence d’une flèche du temps¹¹, celle-ci permet d’éliminer les demi-cônes positifs (cônes du futur) au profit des demi-cônes négatifs, et la réalité de \mathcal{A} s’identifie alors exactement à ce que \mathcal{A} peut voir de ses yeux. C’est pourquoi dans la suite nous appellerons cette convention *la simultanéité observée*. Sa spécification ne nécessite aucune reconstruction a posteriori, elle est directement accessible à \mathcal{A} depuis sa position.

La définition du présent par les demi-cônes du passé est considérée, pour être immédiatement rejetée, dans [16] et [21]. Pour Putnam, cette définition violerait l’inexistence d’observateur privilégié en relativité restreinte. Cependant, chaque observateur a le droit de se tenir pour privilégié pour ce qui concerne sa définition de la simultanéité, c’est d’ailleurs parfaitement explicite dans les hypothèses des théorèmes de Malament et Sarkar-Stachel. En fait, ce que rejette Putnam, c’est la relativisation de la notion de réalité, comme nous l’avons signalé plus haut¹². Pour Savitt, tout ensemble ayant vocation à définir le présent doit être *achronal*. Cela signifie qu’il ne doit pas contenir de couple d’événements (A, B) tel que A soit antérieur à B pour la coordonnée de temps de n’importe quel observateur inertiel. Comme cette définition équivaut à dire que A est dans le demi-cône plein du passé de B , autant dire que Savitt rejette SO par hypothèse ! La critique de Savitt ne nous semble pas fondée, mais elle a le mérite de nous montrer que l’adoption de SO conduit à détacher entièrement la notion de présent de la notion de chronologie. Il ne nous semble pas qu’il s’agisse d’un paradoxe, mais plutôt d’un bienfait. Enfin, au moins un philosophe (Godfrey-Smith, voir [8]) adhère au présentisme version SO.

Un mot des notions de passé (importante pour le possibilisme) et de futur. Celles-ci découlent assez immédiatement des définitions précédentes. Les événements passés et futurs appartenant à la ligne d’univers d’un observateur \mathcal{A} sont définis sans ambiguïté. Dès lors, un événement est déclaré futur (resp. passé) s’il est simultanément avec un événement futur (resp. passé) de la ligne d’univers de \mathcal{A} . Il faut prendre garde à ce que, selon la convention de la simultanéité observée, le futur inclut ce qu’on appelle habituellement « l’ailleurs » en relativité.

3.3 Observateurs accélérés

Notre analyse s’est pour l’instant tenue aux observateurs inertiels. Il s’agit bien sûr d’une idéalisation, aucun observateur ne peut être parfaitement inertiel, qui plus est tout au long de son histoire. Il est donc crucial de généraliser à la situation plus réaliste des observateurs accélérés la notion de réalité qui découle du présentisme « relativiste », selon l’une ou l’autre des deux versions que nous avons identifiées comme viables.

Contrairement à ce qui est parfois affirmé, il est parfaitement licite de traiter d’observateurs non inertiels en relativité restreinte. La théorie a même été créée pour ça ! À notre connaissance, le débat sur le conflit entre relativité et présentisme s’est entièrement focalisé sur les observateurs inertiels au

10. J’utilise ici à dessein un vocabulaire pré-relativiste.

11. Une flèche « électromagnétique » dans le cas présent.

12. L’analyse de SO par Saunders ([20]) en arrive en définitive à la même conclusion.

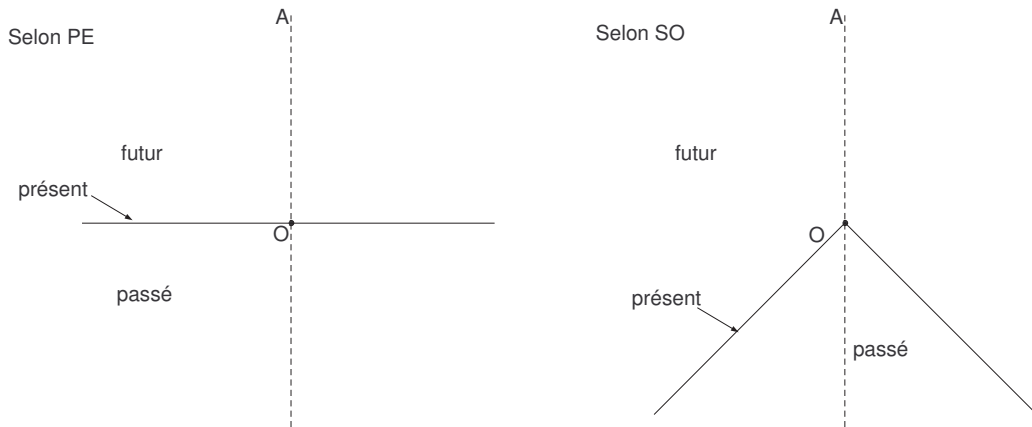


FIGURE 5 – Représentations du passé, présent et futur d’un observateur \mathcal{A} à un moment O de son histoire, selon les deux conventions possibles.

sein de la théorie restreinte. Ce conflit se pose pourtant avec encore plus d’acuité lorsque l’on utilise des observateurs non inertiels.

Pour un observateur accéléré dans l’espace-temps de Minkowski, la question de la simultanéité est problématique. En effet, si l’observateur utilise le repère inertiel instantané pour définir la simultanéité selon la convention de Poincaré-Einstein, les hyperplans de simultanéité se recoupent. Sur la figure 6 on a représenté la ligne d’univers d’un observateur \mathcal{A} dont le mouvement est inertiel jusqu’en O , accéléré entre O et O' , puis inertiel après O' , avec une vitesse supérieure à celle qu’il avait lors de la première phase du mouvement.

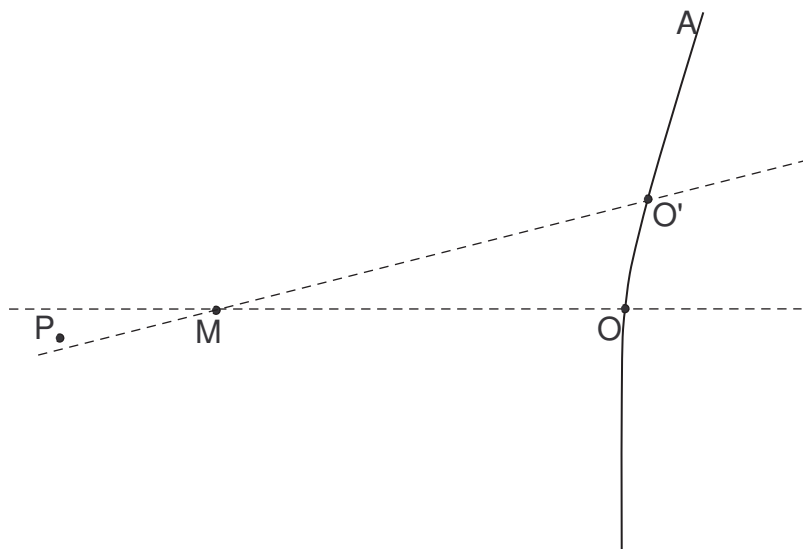


FIGURE 6 – Un observateur subissant une accélération entre deux phases de mouvement inertiel.

Ainsi, l’événement M est présent pour \mathcal{A} à la fois lorsqu’il est en O et lorsqu’il est en O' . Pire, un événement (tel que P sur la figure) peut être passé à un certain moment pour \mathcal{A} ... et futur un peu

plus tard ! Si nous insistions pour que la notion de simultanéité soit une relation d'équivalence sur l'espace-temps de Minkowski, nous serions obligés de déclarer tous les événements simultanés, ce qui ruinerait ipso facto la position présentiste. Par conséquent, nous sommes contraints de reconnaître que la notion de présent ne peut pas s'étendre spatialement à l'infini : elle a, comme les coordonnées d'un observateur accéléré, un caractère local.

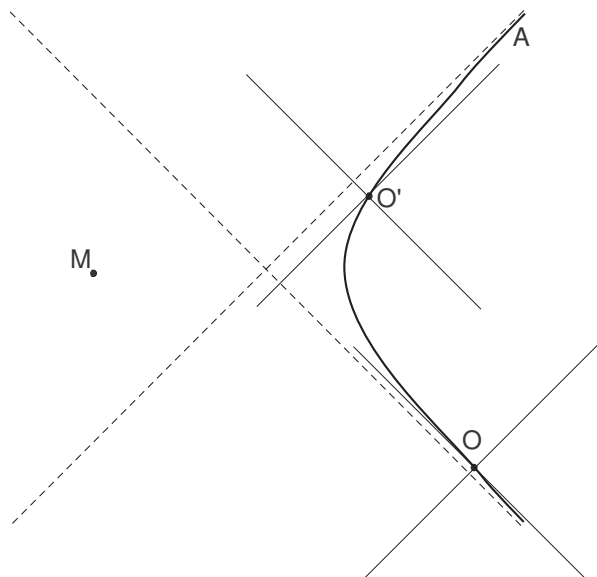


FIGURE 7 – Depuis M on ne peut envoyer de signal à aucun point de la ligne d'univers de \mathcal{A} , et on ne peut en recevoir non plus d'aucun d'entre eux.

Qu'en est-il avec la convention de la simultanéité observée ? Les cônes de lumière du passé d'un observateur accéléré ne peuvent pas se recouper, sinon cela signifierait que l'observateur est allé plus vite que la lumière. Néanmoins, si on considère par exemple un observateur uniformément accéléré, on constate qu'il existe des événements de l'espace-temps, comme M sur la figure 7, qui ne sont jamais ni dans le présent, ni dans le passé, ni dans le futur de l'observateur ! Nous voyons que dans ce cas aussi, le présent revêt un caractère local.

4 Présentisme, possibilisme, et Relativité Générale

Commençons par préciser la distinction que nous établissons entre ces deux théories. En effet, selon un certain point de vue, la relativité restreinte n'est autre que l'étude d'une solution particulière de la relativité générale. Néanmoins, au sein de la théorie restreinte, le tenseur métrique η n'est pas perçu comme une solution de certaines équations dynamiques. Il s'agit d'une structure fixe qui fait partie des données de la théorie. En particulier cette structure permet de distinguer une certaine classe d'observateurs (les observateurs inertiels), et un certain type de coordonnées (celles dans lesquelles la métrique prend sa forme usuelle).

La relativité générale se distingue de la théorie restreinte par deux aspects :

- la métrique n'est pas une donnée a priori, et sa courbure est en générale non nulle,
- n'importe quelle topologie globale de l'espace-temps est envisageable.

En relativité générale, les coordonnées ont deux caractéristiques : elles sont locales, et elles sont arbitraires.

L'arbitraire des coordonnées conduit cette fois sans le moindre doute à la conclusion que la simultanéité est une pure affaire de convention au sein de la relativité générale. En effet, n'importe quel feuilletage de l'espace-temps par des hypersurfaces de genre espace fournit une notion valable de

simultanéité¹³, donc de réalité pour le présentiste. La seule porte de sortie qui nous semble possible est l'utilisation de la simultanéité observée, qui est d'une autre nature car ici les hypersurfaces sont de genre lumière. Comme les (morceaux de) cônes de lumière sont les seules hypersurfaces de genre lumière, cette convention acquiert une forme d'unicité en relativité générale. C'est la seule définition « présentiste » de la réalité qui possède un sens physique au sein de cette théorie, mais nous allons voir que pour l'accepter le présentiste doit mettre beaucoup d'eau dans son vin !

Pour commencer les cônes de lumière du passé d'un observateur peuvent se recouper. À cause de la distorsion de la marche de la lumière¹⁴ due à la présence des masses, c'est d'ailleurs un fait assez banal qu'un même événement soit perçu par un même observateur à plusieurs instants différents. À la limite, en imaginant un trajet assez tortueux pour la lumière (ou une topologie globale « torique » pour l'espace-temps), il devrait être possible de voir la lumière issue d'un événement de son propre passé. Un observateur pourrait par exemple voir sa naissance. Il ressort de ces considérations que le présentisme est difficilement compatible avec la relativité générale. S'il me faut accepter que certains événements soient à la fois présents et passés, donc à la fois réels et passés, alors il est légitime de déclarer que tous les événements du demi-cône de lumière du passé sont réels, c'est-à-dire d'adopter le possibilisme¹⁵.

Le caractère local des coordonnées pose de son côté, et à nouveau, la question du solipsisme. En effet, déjà dans l'espace de Minkowski seuls certains observateurs privilégiés (à condition de considérer qu'ils sont éternels) avaient accès à la totalité de l'espace-temps, mais la situation générique en Relativité Générale est qu'aucun observateur n'a accès à la totalité de l'espace-temps¹⁶ : il existe des horizons absolus des événements. On peut se demander en quoi un observateur est fondé à considérer comme réel ce qui se cache derrière son horizon. Pour le présentiste, comme pour le possibiliste, la réponse est claire : si un observateur a un horizon des événements, cela signifie qu'aucun de ses demi-cônes du passé ne peut contenir un événement situé de l'autre côté de l'horizon. Par conséquent, à aucun moment de l'histoire de cet observateur un tel événement ne peut être réel pour lui.

Pour l'éternaliste, la totalité de l'espace-temps est réelle. Admettre l'existence de l'espace-temps au-delà de l'horizon constitue, soulignons-le, un saut inductif. Aucune preuve directe de l'existence d'une telle région ne peut, par définition, être rapportée. Néanmoins ce saut inductif est naturel, il est d'ailleurs implicite chez tous les spécialistes de relativité générale.

Ainsi, et pour résumer, la relativité générale n'admet qu'une seule forme de présentisme ou de possibilisme : celle de la simultanéité observée. Cependant, des « bizarreries » affectent la notion de réalité présentiste qui en découle, comme la possibilité qu'un événement soit présent plusieurs fois au cours de l'histoire d'un observateur. Par ailleurs, cette réalité se rétrécit du fait du caractère local des coordonnées (déjà présent en relativité restreinte pour les observateurs accélérés) et de l'existence d'horizons absolus des événements.

Sans être totalement réduite à l'absurde, la position présentiste devient vraiment inconfortable

13. Dans l'espace-temps de Minkowski, il existe des observateurs privilégiés, les observateurs inertiels, qui se distinguent par la forme particulière que prend la métrique, une donnée a priori, dans leur système de coordonnées. Il existe une infinité de tels observateurs, mais cette ambiguïté peut être levée par la donnée d'un observateur particulier. La ligne d'univers d'un tel observateur peut être transportée de façon canonique en tout point de l'espace-temps, ce qui fournit une classe de lignes d'univers parallèles. Les hypersurfaces qui coupent orthogonalement toutes ces lignes d'univers sont donc particularisées : c'est précisément ce qu'exploite la définition de la simultanéité selon Poincaré-Einstein. En Relativité Générale, il existe bien certaines classes d'observateurs privilégiés associées à certaines métriques particulières, mais dans le cas général, la donnée de la ligne d'univers d'un observateur ne suffit pas à déterminer canoniquement une hypersurface du genre espace. D'une part, la courbure et la non-unicité des géodésiques reliant un point à un autre empêchent généralement de donner un sens univoque à l'opération de transport de la ligne d'univers de l'observateur. D'autre part, étant donné la ligne d'univers \mathcal{H} d'un observateur et un point M sur cette ligne, il existe une infinité d'hypersurfaces du genre espace qui coupent orthogonalement \mathcal{H} en M . Chacune de ces hypersurfaces peut être utilisée pour fabriquer des coordonnées dites Gaussiennes, ou synchrones, et permet ainsi de définir une notion de simultanéité apparaissant comme une généralisation possible de la simultanéité selon Poincaré-Einstein.

14. C'est une façon de parler, puisque par définition la lumière marche toujours aussi droit que possible.

15. On pourra rétorquer qu'au moment de ma naissance, cet événement est à la fois présent et futur pour moi, ce qui pose problème. Cependant, je ne peux pas savoir à ce moment-là que je serai amené à revoir ma naissance. Le possibiliste doit seulement accepter qu'un même événement accède plusieurs fois à l'existence, ce qui ne heurte pas la vision cumulative d'un univers en construction.

16. Considérons un espace-temps contenant un trou noir. Les observateurs dont la ligne d'univers ne franchit pas l'horizon du trou noir n'ont pas accès à ce qui passe dans le trou noir. Un observateur qui se situe derrière l'horizon du trou noir reçoit la lumière provenant de tout l'univers, mais uniquement pendant un temps fini, après quoi il touche la singularité et on ne peut plus rien tirer de la théorie. Quoi qu'il en soit, il est clair que s'il existe deux trous noirs, aucun observateur n'a accès à tout l'espace-temps via ses cônes de lumière du passé.

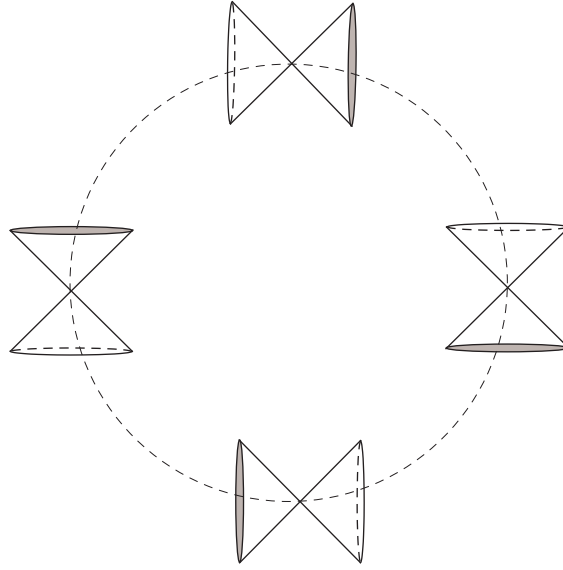


FIGURE 8 – Une boucle du genre temps

et s'éloigne de ce qui pouvait initialement rendre cette théorie séduisante. Ceci renforce la position de l'éternaliste. Notons néanmoins que celui-ci est contraint à un saut inductif : celui qui consiste à intégrer à sa réalité des zones de l'espace-temps qui lui sont à tout jamais inaccessibles. Nous voyons ici se dessiner deux tendances opposées : une tendance positiviste pour le présentiste (ce qui existe est ce que je vois, et rien d'autre), et une tendance idéaliste chez l'éternaliste. Ces deux tendances ne vont faire que se renforcer par la suite.

Une voie moyenne pourrait être celle du possibilisme¹⁷, qui conserve son sens en Relativité Générale, à condition toutefois de supposer qu'il ne puisse pas exister dans l'univers de boucle du genre temps. Une telle boucle ruinerait tout espoir de distinction entre présent, passé et futur et rendrait incohérentes les positions présentistes comme possibilistes. On ignore encore à présent si la possibilité de telles boucles constitue une pathologie de la relativité, ou s'il faut prendre la théorie au sérieux sur ce point, néanmoins nous allons étudier cette question dans le paragraphe suivant.

5 Présentisme, déterminisme, et voyages dans le temps

L'un des arguments majeurs en faveur du présentisme comme du possibilisme est le caractère indéterminé du futur : si je peux connaître le présent et le passé avec beaucoup de précision, à la limite de façon totalement précise, il n'en va pas de même du futur.

L'idée que le futur est radicalement imprévisible, et par conséquent « moins réel » que le présent (voire le passé), a, me semble-t-il, deux origines : l'intuition que nous déterminons librement nos actes, et le caractère apparemment fortuit de certains phénomènes naturels. Les Anciens ont d'ailleurs cherché à rendre compte de la seconde source d'indéterminisme à l'aide de la première en voyant derrière les accidents de la Nature les caprices de quelque divinité¹⁸. La philosophie naturelle s'est largement constituée contre ces explications primitives, en laissant entrevoir la possibilité que tout, dans la Nature, soit réductible, par exemple, au mouvement des atomes. Ceux qui, pour des raisons

17. Dans la version « simultanéité observée ».

18. Cette forme de superstition est, hélas, toujours d'actualité. L'ayatollah Sedighi, imam de la prière du vendredi de Téhéran a cru percevoir une relation de causalité entre « l'augmentation des comportements sexuels illicites » et celle des tremblements de Terre, tandis que le président Evo Morales voyait dans le récent séisme au Chili une vengeance de mère Nature contre l'homme qui ne respecte pas l'environnement. (Source AFP)

religieuses ou non, persistent à croire dans l'existence du libre-arbitre n'ont pour seule échappatoire que de placer l'Homme, ou à tout le moins son esprit ou son âme, de quelque manière en dehors de la Nature.

Nous pouvons facilement constater que tous les « paradoxes » classiques liés aux voyages dans le temps se ramènent en dernière analyse au refus intuitif de faire descendre l'homme de son piédestal.

Considérons le plus célèbre d'entre eux, celui du voyageur imprudent. Rappelons qu'il s'agit d'imaginer que l'on puisse remonter dans le temps, pour y tuer son propre père avant d'avoir été conçu. Il s'en suit une impossibilité logique, puisque si je n'ai pas été conçu je n'existe pas, et je n'ai pas pu tuer mon père, etc. . . Certains vont jusqu'à penser que ce paradoxe interdit les voyages dans le passé. La situation épistémologique des voyages dans le passé le long d'une « boucle du genre temps » est assez confuse. La relativité générale les autorise, mais sous des conditions si restrictives qu'il semble peu probable qu'elles puissent être réunies. La mécanique quantique de son côté, semble les interdire, de sorte que l'on imagine qu'une théorie quantique de la gravitation serait en mesure de régler cette question. Mais ce n'est pas ce qui nous préoccupe ici. En effet, il nous importe simplement de souligner que le paradoxe du voyageur imprudent n'est pas un conflit entre la logique et les voyages dans le passé, c'est un conflit entre l'existence du libre-arbitre et l'existence des voyages dans le passé. Or, laquelle de ces deux propositions est la plus vraisemblable : « le libre-arbitre existe, et cela impose aux lois de la physique d'interdire les voyages dans le passé », ou « les voyages dans le passé sont ou non possibles, c'est un fait qui dépend des lois de la physique et seulement de ces lois, et n'a rien à voir avec le libre-arbitre, qui lui n'est qu'une illusion » ?

Dans le paradoxe du livre que personne n'a écrit, j'achète aujourd'hui un exemplaire de « La machine à explorer le temps », j'entre dans une telle machine pour retourner en 1895 et je l'offre à H.G. Wells. Wells ne fait donc que recopier l'ouvrage, d'où la question : qui l'a écrit ? La source de la confusion est ici l'idée que le génie créateur de l'homme a quelque chose de surnaturel. En réalité, l'emploi d'un voyage vers le passé ne fait ici qu'engendrer de la confusion. Le nœud du problème reste exactement le même si à la place d'une machine à remonter dans le temps j'utilise un super-ordinateur capable de calculer l'état de l'univers dans un mois à partir de la connaissance de son état actuel. Grâce à cette machine je peux déterminer au mot près le contenu du prochain best-seller et aller en remettre une copie à l'auteur avant même que celui-ci ne se mette à écrire. L'idée que tout ce qui va être se trouve déjà en puissance dans l'état du monde est peut-être choquante quand il s'agit d'un livre, mais ça n'est qu'une conséquence immédiate du déterminisme. Qu'y a-t-il d'étonnant à ce que notre esprit ait du mal à s'habituer à une situation aussi éloignée de la vie quotidienne, où règne, à notre échelle de connaissance et de compréhension du monde qui nous entoure, le chaos et l'aléatoire ?

Si nous laissons de côté la question du libre-arbitre reste celle de l'aléatoire. Si certains événements se produisent vraiment au hasard, la position éternaliste s'en trouve affectée. Les seules sources connues (ou du moins supposées) de hasard vrai dans la Nature étant les phénomènes quantiques, il nous faut maintenant étudier leurs conséquences sur le débat qui nous occupe.

6 Présentisme, éternalisme, et mécanique quantique

Nous ne disposons malheureusement pas d'une théorie unifiant relativité générale et gravitation. La théorie qui semble la plus aboutie, la gravitation quantique à boucles, doit encore passer divers tests.

Dans l'attente, contentons-nous de réfléchir à ce qui se passe lorsqu'un phénomène quantique intervient dans l'espace-temps de Minkowski. On sait que mécanique quantique et relativité restreinte ne se mêlent de façon harmonieuse qu'au sein de la théorie quantique des champs. Il n'est pas interdit de penser qu'il serait profitable d'intégrer la théorie quantique des champs à nos réflexions¹⁹. Nous ignorons si les philosophes se sont déjà penchés sur ce que la TQC avait à dire sur la question du présent. Néanmoins, il nous semble possible de tirer des conséquences importantes sur la question de l'existence d'un présent à partir des phénomènes quantiques sans faire intervenir la notion de champ quantique, ni même aucun formalisme particulier.

Comme nous l'avons dit plus haut, ce sont uniquement les phénomènes vraiment aléatoires qui ont le potentiel de remettre en cause l'éternalisme et de plaider en faveur du présentisme ou du

19. Que la réalité soit nécessairement relative à l'observateur pour le présentiste apparaît encore plus clairement dans cette théorie, puisque le contenu en particule de l'univers dépend du mouvement de l'observateur, comme le montre l'effet Unruh. Nous remercions Aurélien Barrau pour cette remarque.

possibilisme. Or l'indéterminisme introduit par la théorie quantique se localise entièrement dans l'opération de mesure, que nous appellerons en suivant Penrose, l'évolution R . Dans la suite nous ignorons toutes les autres caractéristiques de la physique quantique (linéarité, évolution unitaire U , ...) dont nous faisons l'hypothèse qu'ils n'ont pas de conséquence sur la question qui nous occupe ²⁰.

Afin de nous focaliser sur la question de l'évolution R , imaginons qu'un observateur dispose d'un système quantique S , constitué par exemple par une particule de spin $1/2$ préparée dans un état propre $|+, z\rangle$. Cela signifie qu'une mesure de spin selon un certain axe (Oz) donne avec certitude la valeur $+\hbar/2$. Si l'observateur effectue une mesure de l'état de spin de la particule selon un axe (Ox) orthogonal à (Oz), il a des probabilités égales de trouver $+\hbar/2$ ou $-\hbar/2$. Quel que soit le résultat, l'état de la particule est projeté dans l'état pur $|+, x\rangle$ ou $|-, x\rangle$. Une mesure ultérieure du spin selon (Oz) donnera alors à nouveau un résultat aléatoire, de sorte que des mesures successives selon (Oz), (Ox), (Oz) etc... constituent une suite de tirages de « pile ou face quantiques ».

Pour éviter d'introduire une source secondaire de non-déterminisme, on décide à l'avance que l'observateur doit mesurer l'état de son système à des instants régulièrement espacés, séparés par un durée propre constante $\Delta\tau > 0$.

Plaçons-nous à un moment où l'observateur \mathcal{O} s'apprête à effectuer une mesure. À cet instant t (mesuré par l'horloge de \mathcal{O}), selon l'interprétation standard de la mécanique quantique, l'état $\psi(t)$ de S existe, et il parfaitement connu de \mathcal{O} . En revanche, à un instant « immédiatement ultérieur », $t + \epsilon$, l'état $\psi(t + \epsilon)$ vaut $|\pm, x/z\rangle$, avec certaines probabilités. Il semble donc clair que l'événement M situé à l'instant $t + \epsilon$ sur la ligne d'univers de \mathcal{O} appartient à un futur indéterminé pour \mathcal{O} à l'instant t . Il peut sembler difficile de qualifier l'événement M de réel pour \mathcal{O} à cet instant précis.

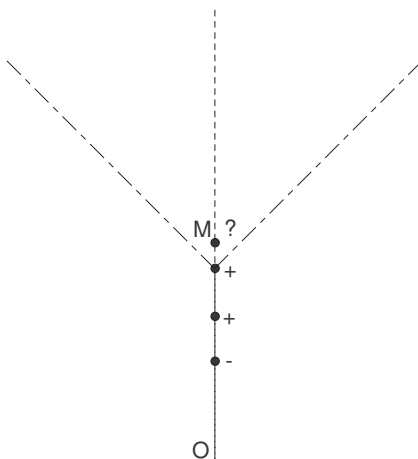


FIGURE 9 – Jeu de pile ou face quantique.

La mécanique quantique donne donc de la consistance à l'un des arguments majeurs du présentisme, à savoir qu'il y a un futur bien distinct du présent et du passé parce qu'il ne peut être complètement connu, ni par l'observation ni par le calcul. Nous allons voir, cependant, que si l'on suit cette pente, nous sommes conduit à une forme bien particulière de présentisme. Pour les besoins de l'argumentation, nous admettons provisoirement le postulat P (comme « positiviste ») suivant :

Postulat P *Ce qui ne peut, même en principe, être déterminé par quelque moyen que ce soit par un observateur, n'existe pas pour cet observateur.*

La précision « même en principe » est importante : elle a pour fonction de ne pas exclure a priori de la réalité de \mathcal{O} tout ce qui n'est pas observable par \mathcal{O} à un instant donné, c'est-à-dire tout ce qui n'est pas dans son cône de lumière du passé. Dans une théorie déterministe, je peux savoir ce qui se passe « maintenant » dans la galaxie d'Andromède à condition de disposer d'un état initial de cette galaxie et d'une région suffisamment étendue autour d'elle. Bien sûr, on peut contester la possibilité

20. Une exception possible est le phénomène d'intrication.

de disposer d'une telle information. Mais je veux partir d'une position suffisamment réaliste (pour montrer combien je vais être obligé de m'en éloigner). De plus, on peut considérer une situation idéale où il est raisonnable d'admettre que l'on dispose de conditions initiales globales. Par exemple si un observateur se trouve dans un univers vide (en tout cas lui apparaissant comme vide depuis des millions d'années), et se sépare à un moment donné d'une boîte contenant un système classique dont il connaît l'état. Il y a bien évidemment un saut inductif dans le raisonnement : un univers observé comme vide pendant très longtemps n'est pas nécessairement vide, et la boîte va peut-être capter des signaux que jamais l'observateur n'a capté. On peut néanmoins rendre le raisonnement parfaitement rigoureux en supposant que l'univers possède une extension spatiale finie (par exemple une version cylindrique de l'espace-temps de Minkowski).

Revenons à notre observateur et à son jeu de pile ou face quantique. Non seulement M mais tous les événements situés dans le cône du futur de M sont potentiellement affectés par M , et se trouvent ainsi tout autant indéterminés que lui. Dans la limite où $\Delta\tau$ tend vers 0, on voit que tout le cône de lumière du futur de \mathcal{O} à l'instant t plonge dans l'indétermination, conformément à l'intuition présentiste.

Considérons maintenant un autre observateur, \mathcal{O}' , muni d'un système S' du même type que celui considéré plus haut. On suppose que \mathcal{O} et \mathcal{O}' se croisent en un certain point P de l'espace-temps, et sont animés d'un mouvement relatif non nul. Au moment du croisement, le système S' est observé, de sorte que \mathcal{O} et \mathcal{O}' peuvent tous les deux calculer l'évolution U de l'état de S' à partir de sa valeur en P . Considérons un point A sur la ligne d'univers de \mathcal{O} , dans le futur de P (voir figure 10). Dans la suite A sera considéré comme fixe, et P pourra être varié.

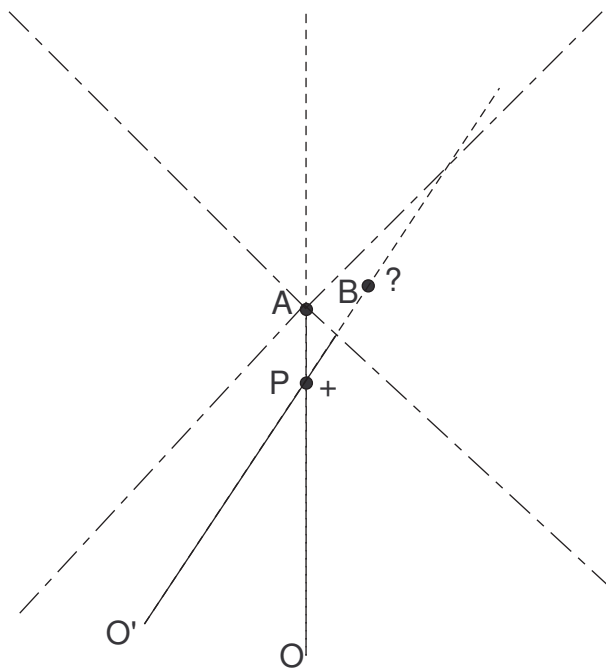


FIGURE 10 – L'événement B n'est pas réel pour \mathcal{O} quand \mathcal{O} est en A .

Quand \mathcal{O}' effectue la mesure, cela définit un certain événement B . En jouant sur la position de P par rapport à A , la vitesse relative de \mathcal{O} et \mathcal{O}' , et le délai $\Delta\tau$ avant que \mathcal{O}' n'effectue sa mesure, B se peut se trouver n'importe où dans le demi-cône plein du futur ou dans l'ailleurs de A . Dans ce cas l'événement B ne peut en aucune manière être connu de \mathcal{O} lorsque celui-ci est en A . Selon notre postulat, l'événement B n'est pas réel pour \mathcal{O} lorsque \mathcal{O} est en A . Notons que si le système S' était classique, son état en B pourrait être calculé et donc connu par \mathcal{O} en A .

La conclusion suit immédiatement : les seuls événements qui peuvent être à bon droit considérés

comme réels sont ceux du demi-cône du passé plein de \mathcal{O} . La mécanique quantique et la relativité restreinte, considérées ensemble, semblent pointer dans la direction du présentisme, mais dans la version définie plus haut à l'aide de la simultanéité observée.

L'éternalisme est-il donc condamné par la théorie quantique ? Oui, mais seulement si l'on accepte en même temps le postulat positiviste énoncé plus haut. Mais ce postulat nous conduit, à lui seul, à une forme de solipsisme. Supposons que nous observions un objet si lointain que la lumière qu'il émet vient juste de nous parvenir. Du strict point de vue que nous avons nommé positivisme, la question de savoir quel était l'état de cet objet il y a une minute n'a pas de sens, car cet objet n'existait pas *pour nous* il y a une minute. Y a-t-il tout de même une possibilité de sauver le réalisme, c'est-à-dire, selon les mots d'Einstein, l'idée que « la Lune est là même si on ne la regarde pas » ?

Remarque : si on dit d'emblée que la réalité de \mathcal{O} en A est invariante par les transformations de Lorentz orthochrones qui fixent A , et contient nécessairement A , alors on obtient trivialement cinq possibilités (classées par ordre décroissant de dimensionalité) : tout l'espace de Minkowski (éternalisme), le cône ou les demi-cônes pleins issus de A (le cas du demi-cône plein du passé correspond au possibilisme), l'ailleurs de A union le cône de lumière de A (ou un des demi-cônes de A), le cône ou les demi-cônes issus de A (le cas du demi-cône du passé correspond au présentisme), et enfin le point A lui-même (qui conduit à une forme assez radicale de la notion réalité²¹).

7 Probabilités

La notion de probabilité, lit-on parfois, est l'une des plus débattues des mathématiques. En réalité c'est tout-à-fait faux : la notion de probabilité n'est pas plus sujette à questionnement que la notion de mesure, puisqu'une probabilité n'est rien d'autre qu'une mesure. C'est le lien entre probabilité et réalité, c'est-à-dire l'interprétation, qui est débattue.

La question qui nous importe ici est celle de savoir si les probabilités d'événements individuels ont un sens. L'analyse de la notion de probabilité, c'est-à-dire qu'un événement est plus ou moins probable, a une plus ou moins grande propension à se produire, montre que celle-ci tire son origine de l'observation de répétitions et du calcul explicite ou implicite de fréquences. Tout ceci au sein d'un monde, d'une réalité quotidienne, qui obéit à des lois fondamentales *totalelement déterministes* ! Des phrases comme « j'ai 80 pour cent de chance de réussir cet examen » ne reposent sur aucune base expérimentale ou théorique, et ne sont qu'une manière de traduire la plus ou moins grande confiance en lui du locuteur. D'autres comme « le couple Untel a 1 chance sur 4 d'avoir deux filles » ne font qu'exprimer notre ignorance de certaines données. L'habitude de la manipulation de telles phrases finit par convaincre certains que les probabilités « pures » existent ailleurs que dans notre imagination. Pourtant nous voyons que cette notion est induite à partir d'une expérience quotidienne, qui, ne faisant pas intervenir les phénomènes quantiques, peut s'expliquer au moins en principe à l'aide de théories strictement déterministes. Finalement une probabilité traduit toujours une ignorance, et une ignorance ne peut avoir que deux origines : une connaissance incomplète de certaines données, ou une multiplicité de configurations réalisant un certain énoncé. Dans le monde de la physique classique, la véritable source d'ignorance est toujours la première, et on la ramène à la seconde en négligeant les variables cachées, afin de pouvoir utiliser la théorie des probabilités.

Les tenants des probabilités pures n'ont au fond que la théorie quantique à se mettre sous la dent, en dernière analyse, et la discussion en arrive toujours à cette affirmation : il existerait en physique quantique des probabilités pures, s'appliquant à des événements individuels. Les prédictions de la théories seraient d'ailleurs exactement de ce type.

Je crois qu'il est important de réaliser qu'il s'agit là d'une affirmation métaphysique, parfaitement légitime en tant que telle, mais qui n'a aucune base scientifique. Quel pourrait d'ailleurs être le sens scientifique de cette affirmation ? Expérimentalement, elle est invérifiable, car vérifier une prédiction probabiliste se fait nécessairement à l'aide d'une série statistique. Elle n'est pas non plus justifiée par la théorie, car une probabilité, répétons-le, n'est rien d'autre qu'une application P d'une tribu (un sous-ensemble de $\mathcal{P}(\Omega)$, où Ω est l'univers des possibles) dans $[0; 1]$, vérifiant certaines propriétés. Un événement, c'est-à-dire un élément de la tribu, en vaut un autre : mathématiquement, aucun ne peut être qualifié d'isolé. On peut prendre un exemple élémentaire : M. et Mme Untel ont deux enfants,

21. Qui correspond peut-être à la vision de Barbour ? C'est en tout cas ce que le philosophe Howard Stein appelle « présent », en réponse au paradoxe d'Andromède ([23]). Cette notion de présent étant zéro-dimensionnelle, elle n'est pas compatible avec notre définition.

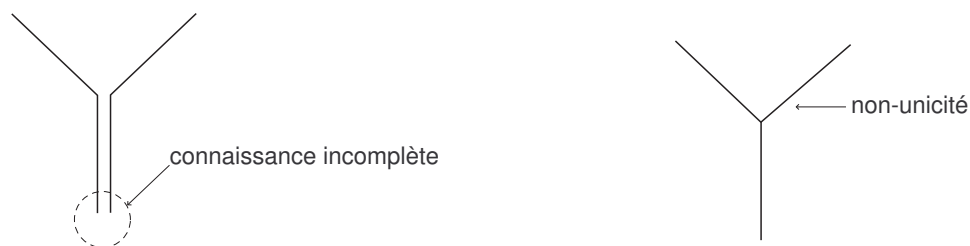


FIGURE 11 – Les deux sources d’ignorance.

quelle est la probabilité qu’ils aient deux filles ? Pour y répondre nous devons considérer un univers constitué de quatre événements, parmi lesquels un est réel et trois sont fictifs. Or c’est en mettant ces événements sur le même plan, en introduisant une symétrie entre eux, que nous obtenons la réponse. Bien sûr il ne s’agit pas ici d’une modélisation fidèle de la réalité, mais seulement de la connaissance que nous en avons. Une modélisation fidèle de la réalité nous permettrait de prédire avec certitude si M. et Mme Untel ont effectivement deux filles.

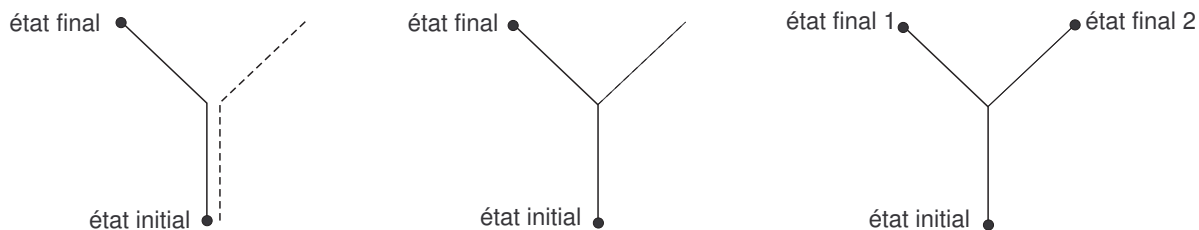


FIGURE 12 – Trois interprétations de la mécanique quantique : variables cachées, Copenhague, MWI.

Si nous nous laissons guider par les mathématiques, il est tout aussi naturel de considérer que tous les événements de la tribu existent, qu’aucun ne possède une « qualité particulière » que les autres ne posséderaient pas. L’argumentation ici est tout-à-fait similaire à celle qui conduit à la conclusion que tous les points de l’espace-temps ont le même degré d’existence. L’interprétation d’Everett de la mécanique quantique fait exactement ce travail. C’est la conclusion logique, la seule porte de sortie nous semble-t-il, de l’éternaliste poussé dans ses derniers retranchements par la mécanique quantique que d’adopter l’interprétation multiverselle de celle-ci, qui donne corps à tous les vecteurs de l’espace de Hilbert.

8 Conclusion

Nous pouvons constater que l’éternaliste et le présentiste sont engagés sur deux chemins divergents : pour le présentiste (et le possibiliste), le passage du temps est objectif et la réalité subjective, pour l’éternaliste, c’est la réalité qui est objective et le passage du temps qui est subjectif.

En effet, comme nous l’avons montré, le présentiste est poussé par la relativité à adopter une définition purement perceptive et personnelle de la réalité. L’interprétation de la mécanique quantique qui est cohérente avec ce point de vue est celle de Copenhague. En bref, les objets n’existent que

lorsqu'on les regarde. La vision de la réalité qui se dégage est éclatée entre les différents sujets. Ces derniers semblent d'ailleurs jouer un rôle particulier dans la théorie par les observations qu'ils effectuent, bien qu'ils ne soient pas eux-mêmes formalisés. Ce point de vue ne me semble pas incohérent, mais il n'est pas certain que les partisans du présentisme soient ravis des aspects contre-intuitifs (ma propre naissance peut être présente, bien réelle pour moi, tandis que ce qui se passe « en ce moment » en Chine ne l'est pas) que doit revêtir leur théorie si on veut la prendre au sérieux jusqu'au bout. La physique moderne détourne en quelque sorte le présentisme de ses motivations premières, ce qui ne le rend pas nécessairement faux pour autant.

De son côté, sous les assauts de la mécanique quantique, l'éternaliste est obligé de désigner de plus en plus d'objets comme réels. En ce sens, il en découle une vision du monde de plus en plus unifiée, sous l'égide des mathématiques. Une nouvelle théorie physique viendra-t-elle demain remettre en cause cet édifice théorique ? Je crois pouvoir affirmer que non. Par exemple, Étienne Klein cite dans son dernier livre ([10]) la tentative d'Elitzur et Dolev ([6]) de réintroduire le devenir en physique, et d'envisager la possibilité d'un espace-temps « en construction ». Mais si on parcourt l'article on est surtout frappé par l'absence totale de mathématiques ! Le caractère spéculatif de cette proposition n'est pas une excuse : je crois qu'il est significatif qu'on y trouve pas le moindre « toy-model », pas le début du commencement d'une formalisation. C'est tout simplement parce que l'idée de quelque chose « en construction » est étrangère aux mathématiques. Si on essaie de la formaliser, tout ce qu'on pourra faire c'est énumérer les étapes possibles de la construction, chacune étant un objet mathématique aussi réel que l'autre. Les mathématiques, dans leur puissance structurante, réifiante pourrait-on dire, nous poussent à considérer sur le même plan ce que nous aurions spontanément tendance à distinguer comme réel d'un côté ou simplement possible, ou encore indéterminé de l'autre. D'une certaine manière les mathématiques ne connaissent pas l'indétermination²², comme nous l'avons vu avec l'exemple des probabilités pures. Ainsi, même si une nouvelle théorie physique donnait un sens à la notion d'espace-temps en construction, il y aurait forcément une interprétation « à la Everett » de celle-ci²³.

Allons plus loin : je propose un « test de Turing » pour la réalité. S'il existe une théorie ultime T de la réalité, celle-ci est réalisée par une certaine structure mathématique M . Par définition, M ne peut être distinguée de la réalité. Continuer à appeler M un « modèle » n'est rien d'autre qu'une discrimination ! De plus, l'efficacité des mathématiques serait alors vraiment déraisonnable, selon le mot de Wigner, s'il existait une structure mathématique complètement parallèle à la réalité, une sorte de double artificiel. Qu'on continue dans ces conditions à affirmer qu'il existe une réalité indépendante des mathématiques, cette construction artificielle de l'esprit humain, me semblerait relever d'un attachement superstitieux à un matérialisme désuet.

En admettant qu'il existe une vérité de l'être, et que la science soit à même de la découvrir (au moins en principe), alors cette vérité se trouve toute entière dans M . Or quelle que soit M , elle ne contient rien de ce que nous autres humains appelons « présent », « temps », ou encore « passage du temps », pour la simple et bonne raison que les objets mathématiques sont « statiques », ou mieux atemporels, par nature. C'est pourquoi aucune formalisation mathématique de ces notions n'est réellement satisfaisante.

Nous parlions d'une possibilité de sauver le réalisme : nous y voici. C'est une version platonicienne du réalisme, dans le sens où nous proclamons que non seulement les objets mathématiques existent, mais que, fondamentalement, il n'existe rien d'autre. Cette proclamation résout un certain nombre de questions philosophiques :

- Elle tranche définitivement en faveur de l'éternalisme (dans un sens très renforcé),
- elle résout la question de Wigner sur l'efficacité des mathématiques,
- elle donne une définition de la réalité qui a l'air de tenir debout, ce qui est la moindre des choses pour un réaliste.

Je voudrais insister sur le fait que cette dernière question n'est pas résolue de façon triviale. En effet la notion d'objet mathématique n'est pas triviale, parce qu'il existe toujours des dualités.

Reste le problème de savoir ce qu'est la conscience, et comment elle fonctionne, mais ce problème est identique pour le présentiste-positiviste.

22. On peut songer ici à Gödel mais on peine à voir le rapport.

23. En un certain sens, l'espace-temps de Minkowski est l'interprétation « à la Everett » de la Relativité Restreinte : il s'agit de la réunion au sein d'une structure mathématique unifiée de la multiplicité des réalités liées à tous les observateurs inertiels, et la déclaration que cette structure mathématique a une valeur ontologique.

Références

- [1] Y. Balashov, M. Janssen, *Presentism and Relativity*, British Journal for the Philosophy of Science, **54**, No 2, pp. 327–346 (2003)
- [2] J. Bigelow, *Presentism and Properties*, in James E. Tomberlin (ed.), *Philosophical Perspectives 10 : Metaphysics*, 1966. Blackwell 1996.
- [3] W. Craig, *The Tenseless Theory of Time : A Critical Examination*, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers (2000)
- [4] F. Dyson, *Disturbing the Universe*, Joanna Cotler Books, 1979
- [5] A. Einstein, *La théorie de la relativité restreinte et générale*, Dunod
- [6] A. Elitzur, S. Dolev, *Becoming as a bridge between quantum mechanics and relativity*, in *Endo-physics, Time, Quantum and the Subjective*, R. Buccheri et al. (eds.), pp. 197–201 (2005)
- [7] D. Giulini, *Uniqueness of simultaneity*, British Journal for the Philosophy of Science, **52**, pp. 651–670 (2001)
- [8] W. Godfrey-Smith, *Special Relativity and the Present*, *Philosophical Studies*, **36**, pp. 233–244 (1979)
- [9] A. I. Janis, *Conventionality of simultaneity*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2000 Edition), Edward N. Zalta (ed.) (1999); URL=[http ://plato.stanford.edu/entries/spacetime-convensimul/](http://plato.stanford.edu/entries/spacetime-convensimul/)
- [10] E. Klein, *Le facteur temps ne sonne jamais deux fois*, Flammarion, 2007
- [11] J. M. E. McTaggart, *The Unreality of Time*, *Mind*, New Series **68**, pp. 457–484 (1908)
- [12] D. Malament, *Causal Theories of Time and the Conventionality of Simultaneity*, *Noûs* **11**, pp. 293–300 (1977)
- [13] H. Minkowski, *Space and Time*, in “The Principle of Relativity : A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity”, Dover, New York 1952
- [14] V. Petkov, *Is There an Alternative to the Block Universe View ?* in “The Ontology of Spacetime”, D. Dieks, M. Rédei (eds.), Elsevier, Amsterdam (2006)
- [15] A. Prior, *The Notion of the Present*, *Studia Generale*, **23**, pp. 245–248 (1970)
- [16] H. Putnam, *Time and Physical Geometry*, *Journal of Philosophy*, **64**, pp. 240–247 (1967)
- [17] H. Reichenbach, *Axiomatization of the theory of relativity*, Berkeley University Press (1969)
- [18] C. W. Rietdijk, *A Rigorous Proof of Determinism Derived from the Special Theory of Relativity*, *Philosophy of Science*, **33** pp. 341–344
- [19] S. Sarkar, J. Stachel *Did Malament prove the nonconventionality of simultaneity in the special theory of relativity ?*, *Philosophy of Science* **66**, pp. 208–220 (1999)
- [20] S. Saunders, *How Relativity Contradicts Presentism*, in *Time, Reality and Experience*, Craig Callender (ed.), Cambridge University Press, 2002
- [21] S. Savitt, *Being and Becoming in Modern Physics*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy, (2006); URL=[http ://plato.stanford.edu/entries/spacetime-bebecome/](http://plato.stanford.edu/entries/spacetime-bebecome/)
- [22] S. Savitt, *There’s No Time Like the Present (in Minkowski Spacetime)*, *Philosophy of Science*, **67**, Supplement. pp. S563–S574 (2000)
- [23] H. Stein, *On Einstein-Minkowski Space-Time*, *The Journal of Philosophy* **65**, pp. 5-23 (1968)
- [24] H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Rev. ed. Princeton University Press (2009), p 116