

Commentaire de *A Model of the Universe* de Storrs McCall

Storrs McCall, *A Model of the Universe*, New York, Oxford University Press, 1994

Yvon Gauthier

Volume 22, numéro 2, automne 1995

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/027349ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/027349ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Société de philosophie du Québec

ISSN

0316-2923 (imprimé)

1492-1391 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Gauthier, Y. (1995). Commentaire de *A Model of the Universe* de Storrs McCall / Storrs McCall, *A Model of the Universe*, New York, Oxford University Press, 1994. *Philosophiques*, 22(2), 481–487. <https://doi.org/10.7202/027349ar>

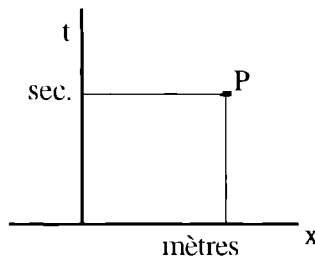
COMMENTAIRE DE *A MODEL OF THE UNIVERSE* DE STORRS McCALL

par Yvon Gauthier

Je me limiterai dans mes commentaires à l'interprétation de la mécanique quantique et de la théorie des probabilités que propose Storrs McCall dans son ouvrage*, c'est-à-dire essentiellement sur le chapitre 4 et les appendices de son livre ; je terminerai par des considérations générales sur la validité du modèle de McCall.

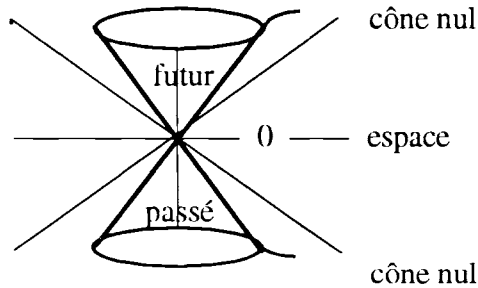
1. La structure arborescente de l'écoulement du temps.

McCall adopte le concept d'une structure arborescente du temps qui a d'abord été définie par A. N. Prior et R. Thomasson dans la logique temporelle et la théorie des temps grammaticaux. Il s'agit d'imaginer le temps comme un arbre dont le tronc représente le passé et les branches, l'ensemble des futurs possibles en autant de ramifications. Le présent est à la jonction du tronc et des branches de l'arbre. La structure arborescente de McCall est plus complexe, parce qu'il veut en faire un modèle de l'univers physique, i.e. de l'espace-temps quadridimensionnel. C'est pour cette raison qu'il introduit la notion de l'espace-temps ramifié de Minkowski. On sait que Minkowski a formulé l'interprétation quadridimensionnelle de la relativité restreinte dans le but de donner une représentation unifiée de l'espace et du temps où le temps devient une variable dépendante, comme les coordonnées spatiales et n'est plus comme en physique classique une variable indépendante : c'est donc une véritable dimensionnalisation ou spatialisation du temps qu'opère un diagramme de Minkowski comme celui-ci :



* S. McCall, *A Model of the Universe*, Clarendon Press, Oxford, 1994.

Or c'est ici qu'intervient l'auteur dans sa version originale de l'espace-temps ramifié, le temps statique de l'univers de Minkowski est en fait la représentation figée d'un mouvement réel, celui de l'écoulement du temps où P représente un événement ponctuel dans l'univers rectangulaire de Minkowski pour la relativité restreinte. Des lignes d'univers diverses trouveront les trajectoires de particules libres stationnaires ou en chute libre. Le représentation statique produira ultimement un cône



pour les géodésiques et une métrique définie par l'élément métrique invariant ds^2

$$ds^2 = (dx^0)^2 - \sum_{i=1}^3 (dx^i)^2$$

Ce cadre diagrammatique, on le voit, se prête aisément à une généralisation en termes de la structure arborescente. Néanmoins, on a toujours un univers statique et même un arbre décénaire (qui se ramifie en dix branches plutôt qu'en deux) ne peut croître dans cet univers sans une impulsion qui lui vienne de l'extérieur — la flèche du temps est tirée par un archer supraphysique et extratemporel sur la cible de l'univers minkowskien ! Le modèle n'est pas généralisable à la relativité générale sans d'importantes modifications que l'auteur n'envisage pas. On peut se demander en outre pourquoi l'auteur n'a pas songé à un autre scénario cosmologique pour son modèle de l'espace-temps ramifié, puisqu'il s'en tient au modèle du Big Bang de la cosmologie relativiste qui n'est pas compatible globalement avec l'espace-temps de Minkowski en vertu des courbes intrinsèques prescrites par les équations du champ. Un modèle inflationnaire d'univers-bébés à la Linde semble plus approprié à l'efflorescence de la structure arborescente qui est au cœur de la théorie de McCall. Il n'y a aucune discussion des modèles non-standards de la cosmologie dans le modèle de l'univers de l'auteur et on doit penser qu'il a produit la métaphysique orthodoxe du modèle standard. Einstein n'avait pas accepté d'emblée le modèle de Minkowski, parce que le temps y devenait une coordonnée spatialisée. Comment réintroduire une dynamique dans cet univers statique ? En le ramifiant, pense McCall, et en supposant que cette ramification traduit le mouvement ou la passage d'un temps créateur. On ne pensera

pas à Bergson ici dont l'auteur ne se réclame pas d'ailleurs ou encore à Prigogine qui a voulu faire du temps sagittal le fer de lance d'une thermodynamique du non-équilibre. On notera cependant que c'est une hypothèse métaphysique que l'auteur tente de justifier en disant que son interprétation est à la fois réaliste et objective (p. 86). Voyons ce qu'il en est.

2. La mécanique quantique

L'auteur soutient que le modèle arborescent est un modèle empiriquement adéquat de la mécanique quantique, de l'effondrement du paquet d'ondes ou superposition des états quantiques à la corrélation des événements quantiques dans les inégalités de Bell, en d'autres mots, c'est la théorie de la mesure en mécanique quantique qui est réinterprétée à la lumière du modèle arborescent. Le modèle arborescent a une étroite parenté avec le modèle d'Everett que j'ai baptisé l'interprétation multivers (pour « the many universe interpretation¹ »). L'auteur compare aussi les deux approches (p. 130 et ss.). Je rappelle brièvement que l'hypothèse d'Everett consiste à supposer que la fonction d'onde y qui représente l'évolution dynamique d'un système quantique se ramifie universellement, i.e. se scinde en plusieurs univers « parallèles » et donc qu'il n'y a pas vraiment de réduction ou d'effondrement « collapse » du paquet d'ondes. Everett pense que la formalisation engendre sa propre interprétation et qu'il y a un homomorphisme (isomorphisme) entre l'ensemble des valeurs de la fonction d'onde et l'ensemble des mondes et multivers. Or d'un point de vue combinatoire, l'hypothèse est intenable, puisque l'ensemble des valeurs de y , sa ramification universelle est de cardinalité $2^{\aleph_0}$ (cardinalité des réels ou des complexes), alors que l'ensemble des résultats a une cardinalité de $\aleph_0$ et même s'il existait des observateurs, $\aleph_0 + \aleph_0 = \aleph_0$ ou encore $\aleph_0 \cdot \aleph_0 = \aleph_0$ et il n'y a pas de bijection entre $\aleph_0$ et $2^{\aleph_0}$. En d'autres termes, l'univers ne peut être dans tous ses états, ce qu'entraînerait la ramification universelle, l'ensemble des combinatoires ou sous-ensembles d'un ensemble infini dénombrable donnant $2^{\aleph_0}$. La réalisation simultanée de tous les états est en contradiction avec un état déterminé du système ou de l'univers défini par résultat de mesure particulier. David Z. Albert² l'a bien compris qui requiert $2^{\aleph_0}$ esprits — c'est l'interprétation que j'appelle « à personnalité multiple » — pour garantir l'isomorphisme avec la cardinalité de la fonction d'onde y .

-
1. Y. Gauthier, *La logique interne des théories physiques*, Bellarmin-Vrin, Montréal-Paris, 1992.
 2. D. Z. Albert, *Quantum Mechanics and Experience*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1992.

Storrs McCall propose une version sensiblement différente quand il admet à la fois la structure dynamique arborescente du temps (p. 287) et l'absence de mouvement réel dans l'émondage des branches qui correspond à l'écoulement du temps ou au passage temporel du passé au futur par le présent (p. 110). Ce principe de la « branch-attribution » est un effet physique, mais ne comporte pas de mouvement, selon l'auteur. En réalité, c'est l'effet physique d'une cause métaphysique, l'écoulement réel du temps comme un fleuve qui creuserait son lit dans l'espace tri-dimensionnel et dont les alluvions (les branches) s'évanouiraient dans le cours uniforme d'un élan unidirectionnel. La métaphore objectiviste est le pendant exact de la métaphore projectiviste de Weyl — citée par l'auteur (p. 20) — qui décrit le temps comme le mouvement de la conscience dans l'espace, à l'exemple d'un nageur qui produit son propre sillage sur la surface d'une mer indistincte. Mais métaphysique et métaphore se rejoignent ici dans un joyeux transport. Je veux maintenant en venir à des objections plus concrètes.

3. La théorie de la mesure en mécanique quantique

Une mesure doit être répétable. Autrement, la physique ne saurait être possible, la prédiction des résultats impliquant la répétabilité des mesures. Une mesure doit donc avoir un résultat et ce résultat doit être indiqué par un marqueur et consigné. Une expérience physique est préparée et l'arrangement expérimental fait partie de l'expérience qui est en plus déterminé par la séquence appareil analytique (ou formalisme logico-mathématique), modèle et interprétation ou théorie physique. Le postulat de projection de von Neumann stipule simplement que le système mesuré, sa fonction d'onde qui entre en interaction avec un appareil de mesure, est dans une superposition d'états, c'est-à-dire une combinaison de résultats possibles (avant la mesure) dont un seul sera réalisé par la mesure ; en symboles $\sum c_j \sigma_j \alpha_j$ se transforme ou est réduite en $\sigma_n \alpha_n$ qui sont les vecteurs propres avec valeurs propres d'une observable ou variable dynamique dans un de ses états propres. Sur ce point précis, les interprétations pullulent et on assiste à un passage du possible à l'actuel dans sa multiplicité de versions. Une interprétation réaliste pourra nier qu'il y a réduction (Daneri-Loinger-Prosperi), une interprétation modale pourra invoquer des mondes possibles artificiels et une interprétation idéaliste fera peut-être appel à la conscience de l'observateur comme chez Wigner ou Albert, par exemple. D'autres interprétations supposent de nouvelles constantes (Ghirardi-Rimini-Weber), un déterminisme latent (Bohm) ou des variables (paramètres) cachés locales ou non locales (Vigier). Les théorèmes de von Neumann-Birkhoff, Kochen-Specker et Bell éliminent certaines de ces théories. Il en reste suffisamment pour perpétuer la critique.

McCall, après avoir discuté brièvement quelques-unes des théories mentionnées, propose la version ramifiée de la mesure (p. 121 et ss.). C'est une théorie subjectiviste, réaliste (i.e. sans observateurs), qui repose sur le

phénomène contingent de l'émondage de la structure arborescente. La différence entre la fonction d'onde et la mesure (ou la projection) est une différence entre faisceaux prismatiques (« *prism stacks* »), nous dit-il. Les faisceaux prismatiques sont des branches d'arbre formant un faisceau comme une botte de foin. L'arborescence est une propriété structurelle, rappelle l'auteur, mais l'émondage est une propriété dynamique et l'évolution de la fonction d'onde n'est pas incompatible avec la mesure. Je vois deux problèmes majeurs ici : la dynamique d'un système quantique, dans le modèle de McCall, n'est pas véhiculée par la fonction d'onde, mais par le processus d'émondage des branches de l'univers arborescent et cet émondage est de nature métaphysique, c'est l'écoulement du temps dont il est dit en page 110 qu'il ne comporte aucun mouvement ! D'autre part, le fait qu'une mesure soit supportée par un faisceau prismatique ne garantit pas qu'une telle mesure a un résultat réel (enregistré). Le renversement de la mesure à la Wigner ne change rien à l'affaire et un faisceau prismatique ne peut générer qu'une mesure possible.

Le modèle est en réalité celui d'un espace logique qui est à mon sens étrange au formalisme de la mécanique quantique et de son interprétation physique. Pour le voir, prenons le cas de la corrélation à distance (ou des inégalités de Bell).

4. Les inégalités de Bell

Je commencerai par emprunter un passage à Niel Belnap qui a collaboré depuis de longues années avec Storrs McCall et qui a formulé sa propre version de la structure arborescente de l'espace-temps³. Pour Belnap, l'univers qu'il appelle « *our World* » est constitué d'événements ponctuels ordonnés par des histoires qui sont autant de sous-ensembles de l'espace-temps de Minkovski. Pour rendre compte des corrélations à distance ou de l'expérience EPR (Einstein-Podolski-Rosen) qui consiste à corréler deux événements dont l'un est mesuré et l'autre pas — mais pour lequel on a un résultat de mesure — Belnap admet les trois postulats suivants :

- 1) il y a exactement deux histoires h_1, h_2 ,
- 2) Chaque histoire est un espace-temps de Minkowski,
- 3) il y a exactement deux points de choix $1_1, 1_2$ — ce qui signifie qu'il y a au moins deux espaces ponctuels.

On comprend aisément qu'avec cette axiomatique minimale, on puisse dériver que deux événements puissent être corrélés à distance sans faire appel à une cause commune à la Reichenbach. Or c'est exactement ce que réclame le théorème de Bell sur la non-existence de variables cachées locales. La corrélation à distance, qui n'est pas une action à distance, signifie la non-séparabilité du monde quantique. On sait que les inégalités de Bell, reprenant

3. N. Belnap, « Branching Space-Time », *Synthese* (1992), 92 : 385-434.

le paradoxe EPR dans la formulation de Bohm, prédisent pour les variables cachées locales une distribution statistique différente de celles qui sont prescrites par la mécanique quantique. Les expériences, celles d'Aspect (et d'autres), sont en accord parfait avec la mécanique quantique. D'où la non-séparation et la nécessité d'expliquer les corrélations à distance. McCall quant à lui, recourt à des hyperplans spatiaux (i.e. des plans à plus de deux dimensions) là où Belnap aurait parlé de coupes simultanées, mais le problème reste entier : des univers ou continua de dimensions différentes sont en correspondance bi-univoque (au sens de Cantor), mais ils ne sont pas homéomorphes (preuve de Brouwer). Pour cette raison, la discussion de la topologie des espaces ramifiés (appendice I) est condamnée à demeurer fragmentaire. En effet, la non-localité devrait non seulement modifier la topologie de l'espace-temps, mais aussi bien la géométrie de Minkowski, qui n'est pas transposable dans le cadre de la relativité générale — l'espace n -dimensionnel ou la variété plate de la géométrie de Minkowski doit faire place à une variété courbe à connexion affine (pour le transport parallèle sur des géodésiques). Si la non-localité est une conséquence naturelle de la structure arborescente du modèle, comme le dit l'auteur (p. 105), il reste encore à lui trouver un formalisme mathématique cohérent et une interprétation physique adéquate.

5. Conclusion. Indéterminisme et théorie des probabilités

Un des aspects importants du modèle de McCall, c'est qu'il incorpore résolument l'indéterminisme. Je veux pour terminer faire quelques remarques sur les relations entre indéterminisme inhérent et la théorie des probabilités.

Dans les prismes, c'est-à-dire les arbres « décénaires », la probabilité se réduit à la proportionalité des branches, nous dit l'auteur. Et pour que l'indéterminisme soit une propriété réelle d'un univers arborescent, il faut que les probabilités soient objectives. L'auteur adopte une théorie des probabilités classique à la Kolmogorov, i.e. avec additivité dénombrable

$$\text{prob} \left(\bigcup_{j=1}^{\infty} a_j \right) = \sum_{j=1}^{\infty} \text{prob } a_j$$

pour des éléments disjoints $a_j \cap a_k = \emptyset$ et $j \neq k$. Mais il va plus loin et suppose qu'il peut y avoir une additivité non dénombrable qu'il croit pouvoir justifier à l'aide des infinitésimaux introduits par A. Robinson. L'auteur semble ignorer que E. Nelson⁴ a produit une théorie finitaire des probabilités avec infinitésimaux finis inspirés elle aussi d'A. Robinson. La version de Nelson reproduit l'essentiel de la théorie classique des probabilités en se limitant aux notions d'espace de probabilités et de processus stochastiques finis. Pour garantir le caractère singulier d'une probabilité ou d'une mesure,

4. E. Nelson, *A Radically Elementary Probability Theory*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1995.

nous devons avoir la propriété d'indépendance des variables aléatoires exprimée par

$$\text{pr}_{\xi}(\lambda) = \prod_{t \in T} \text{pr}_{\xi(t)}(\lambda(t))$$

où les pr sont des distributions de probabilités pour des variables aléatoires (sur des trajectoires stochastiques t). L'indépendance signifie

$$\text{pr}^V(\omega_1, \dots, \omega_v) = \text{pr}(\omega_1) \dots \text{pr}(\omega_v).$$

Il est bien évident qu'avec $2^{\aleph_0}$ infinitésimaux non dénombrables, nous retrouvons le paradoxe que j'ai évoqué au point de départ : toutes les probabilités sont réalisées simultanément dans l'indistinction d'un univers qui, paradoxalement, ne permet pas d'en définir une seule. En d'autres mots, l'univers $2^{\aleph_0}$ est dans tous ses états simultanément et aucune mesure physique finie ou dénombrablement infinie (i.e. $\aleph_0$) ne parvient à caractériser un état singulier pourtant requis pour donner une valeur de probabilité déterminée à un résultat de mesure particulier. L'univers de McCall apparaît donc à la fois comme objectif et indéterminé plutôt qu'indéterministe, puisqu'il n'y a pas de moyen pour distinguer de tout autre état de la même observable ou de l'état de n'importe quelle observable à un moment donné un état propre d'une variable dynamique dans la combinatoire non dénombrable des événements probables. Il faut donc conclure que le modèle de l'univers de McCall n'est pas parfaitement adéquat, il ne réussit pas à rendre compte de la mécanique quantique et des probabilités quantiques qui en sont l'encrage réel ou la condition de réalisation comme aurait dit Hilbert.

*Département de Philosophie
Université de Montréal*