

Le modèle de l'univers de Storrs McCall

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

Louis Marchildon

Volume 22, Number 2, Fall 1995

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/027348ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/027348ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Société de philosophie du Québec

ISSN

0316-2923 (print)

1492-1391 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Marchildon, L. (1995). Le modèle de l'univers de Storrs McCall / Storrs McCall, *A Model of the Universe*, New York, Oxford University Press, 1994. *Philosophiques*, 22(2), 473–480. <https://doi.org/10.7202/027348ar>

LE MODÈLE DE L'UNIVERS DE STORRS McCALL

par Louis Marchildon

1. Introduction

Dans son récent ouvrage, Storrs McCall propose un modèle de la structure quadridimensionnelle de l'univers physique. Le modèle a pour but de contribuer à résoudre un certain nombre de problèmes philosophiques difficiles, tels la flèche du temps, la nature de la causalité et des lois scientifiques, l'interprétation de la mécanique quantique, la nature des probabilités et des énoncés contrefactuels et le problème du libre arbitre. McCall admet d'emblée (p. 1) que le modèle peut sembler, à première vue, extravagant. Mais, dit-il, telle spéculation est permise si le modèle proposé est précis et détaillé, et s'il contribue à éclairer certains problèmes réfractaires. Dans la mesure où le modèle fournit la meilleure explication de ces problèmes, on pourra même conclure qu'il représente correctement la structure de l'univers physique (p. 6, 18-19).

McCall s'est assigné une tâche difficile, et nous devons aborder son ouvrage avec ouverture d'esprit. On doit cependant l'examiner avec toute la rigueur scientifique et philosophique. Au terme de cet examen, on ne pourra conclure, à mon avis, qu'à l'échec du modèle. En particulier, je crois pouvoir montrer que le modèle présente une contradiction majeure, et que les explications qu'il fournit sont, le plus souvent, illusoire.

2. Le modèle

Pour bien visualiser le modèle de McCall, il faut d'abord se figurer l'univers quadridimensionnel de Minkowski. Celui-ci est constitué d'une suite de tranches ou hypersurfaces, chaque hypersurface correspondant à la totalité du monde tridimensionnel à un instant donné. La variable temporelle constitue la quatrième dimension. À celui qui pourrait percevoir l'ensemble de l'univers de Minkowski, l'histoire du monde serait révélée en totalité.

L'univers de McCall est beaucoup plus vaste que l'univers de Minkowski. McCall veut rendre compte de l'indéterminisme de certains processus naturels, en particulier ceux qui relèvent du libre arbitre et ceux qui viennent de la réduction du vecteur d'état en mécanique quantique. Supposons, par exemple, que la conjonction des lois physiques et de certaines conditions initiales à l'instant t_1 permette au monde tridimensionnel d'évoluer vers deux états distincts Ψ_a et Ψ_b , à l'instant t_2 , avec des probabilités P_a et P_b .

McCall nous dit que l'univers quadridimensionnel comporte alors, entre t_1 et t_2 , un branchement où l'hypersurface tridimensionnelle se scinde en plusieurs hypersurfaces tridimensionnelles, chacune d'elles poursuivant son évolution temporelle. Sur une hypersurface donnée, à l'instant t_2 , l'état du système est ou bien Ψ_a ou bien Ψ_b . La probabilité P_a est égale à la proportion de branches dans lesquelles le système est dans l'état Ψ_a . L'idée se généralise, bien sûr, à une évolution temporelle vers plusieurs états distincts. McCall présente une manière astucieuse de modéliser le branchement lorsque les probabilités ne sont pas des nombres rationnels, et il propose une façon d'accomoder le principe de relativité. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

Tout ceci, dans l'esprit de McCall, représente l'univers quadridimensionnel à son tout début, si l'on peut dire : une immense structure arborescente, la direction vers le haut représentant l'accroissement du temps. L'espace tridimensionnel se scinde au moins aussi souvent que des choix compatibles avec les lois physiques sont possibles. Mais McCall nous dit que cette structure quadridimensionnelle évolue avec le temps. Au moment où un choix est possible, toutes les branches de l'arbre disparaissent, à l'exception de celle qui correspond à l'éventualité effectivement réalisée. Ainsi, à n'importe quel instant t postérieur au début de l'univers, la structure quadridimensionnelle de l'univers coïncide avec, d'une part, un tronc unique qui va du début jusqu'à l'instant t et, d'autre part, de multiples branches après t . Le passage du temps consiste en l'émondage successif de toutes les branches, à l'exception d'une seule.

Le lecteur attentif cherchera sans doute à comprendre comment la structure quadridimensionnelle de l'univers à son début peut différer de sa structure quadridimensionnelle ultérieure. Et, à mon avis, il le cherchera en vain. McCall entrevoit la difficulté, et cherche à la conjurer, au delà d'une analogie avec la conception parménidienne du temps (p. 9), en affirmant que l'émondage, plutôt qu'avoir lieu dans le temps, en constitue le passage (p. 30-32). Mais il n'y parvient pas. Affirmer que l'univers quadridimensionnel a telle ou telle structure, c'est affirmer *de facto* la structure de l'espace tridimensionnel (ou des espaces tridimensionnels, s'il y en a plusieurs) à tout instant. Il est contradictoire de dire que l'espace à tout instant, à t_2 , est différent de l'espace à tout instant, à t_1 . On ne peut avoir, à la fois, la structure arborescente de McCall et la propriété que l'espace tridimensionnel est unique à chaque instant présent.

Ainsi, le modèle de McCall paraît fondamentalement contradictoire. Peut-on le rendre cohérent tout en conservant la structure arborescente ? Je vois trois possibilités.

La première consiste à utiliser le modèle que H. Everett a proposé pour résoudre le problème de la mesure en mécanique quantique*. Chaque fois que les lois physiques permettent plusieurs évolutions temporelles distinctes, il y aurait scission de l'espace tridimensionnel mais, contrairement au modèle de McCall, toutes les branches demeureraient. Néanmoins, on pourrait dire que, subjectivement, une seule branche subsisterait, en ce sens qu'un individu dans une branche donnée ne serait plus d'aucune manière lié aux autres branches.

La seconde possibilité consiste à introduire un modèle à une seule branche. Les autres branches n'auraient pas d'existence réelle, seulement une existence potentielle, reflétant notre manque de connaissance du futur.

La troisième possibilité consiste à définir deux temps distincts : le temps intérieur au modèle et le temps à travers lequel l'arbre change.

Je conviendrais, avec McCall, qu'il n'est pas aisé d'interpréter la notion de deux temps distincts (p. 31), et qu'on ne voit pas bien le pouvoir explicatif de branches potentielles (p. 283-284). Dans plusieurs cas, par contre, les modèles d'Everett et de McCall proposent le même type d'explication. Il reste à en investiguer la valeur.

3. L'illusion d'explication

a) La flèche du temps

La physique représente le temps par une variable réelle qui sert à repérer les événements dans l'univers quadridimensionnel. Psychologiquement, le temps se caractérise par son asymétrie (on connaît le passé et on ignore le futur) et par son passage (le futur se réalisant dans le présent et le présent se perdant dans le passé). L'asymétrie du temps est aussi, bien sûr, un problème physique : Comment des lois microscopiques symétriques sous le renversement du temps donnent-elles lieu à des lois macroscopiques asymétriques ?

Nous avons vu que l'explication du passage du temps proposée par McCall, c'est-à-dire l'émondage des branches, donne lieu à une contradiction. Son explication de l'asymétrie du temps (p. 24), par contre, s'adapte sans peine au modèle d'Everett : le futur est la direction dans laquelle les branches se multiplient.

Certes, le modèle arborescent miroite l'asymétrie temporelle, comme le font plusieurs phénomènes physiques telles l'expansion de l'univers, la loi de croissance de l'entropie et la direction de la causalité. L'asymétrie temporelle est-elle pour autant expliquée ? Pas vraiment. Pour expliquer l'expérience de l'asymétrie, il faut établir une relation de conséquence entre l'*explanans* physique et l'*explanandum* psychologique. Il faudrait montrer, à la manière

* H. Everett III, « Relative State » Formulation of Quantum Mechanics », *Reviews of Modern Physics*, vol. 29 (1957), p. 454-462.

d'Horwich par exemple¹, comment la mémoire et l'expérience psychologique sont contraintes, par leur structure et par les conditions initiales de l'univers, à révéler une asymétrie temporelle. Dans le modèle arborescent, il n'y a aucune relation significative entre la structure de branchement et l'expérience psychologique, rien qui fait, par exemple, que la mémoire se rapporte à la direction du moins grand nombre de branches. Il n'y a rien, non plus, qui permet de faire la transition entre lois microscopiques et lois macroscopiques. Le modèle reflète l'asymétrie temporelle, mais il ne l'explique pas.

b) La notion de probabilité

Dans le modèle arborescent, la probabilité d'un événement est définie comme la proportion de branches dans lesquelles cet événement se réalise. À la différence des conceptions courantes des probabilités (logique, fréquentielle, subjective et propensitive), la définition arborescente leur donne, selon McCall, des valeurs précises, objectives et empiriques, même pour des événements singuliers (p. 148). En un mot, la définition arborescente expliquerait la notion de probabilité mieux que les conceptions courantes.

Un examen attentif montre, cependant, que tel n'est pas le cas. Le modèle arborescent définit les probabilités de manière artificielle. Pour s'en convaincre, il suffit de concevoir un modèle semblable à celui de McCall, mais dans lequel, à partir de conditions initiales données, la proportion de branches où l'on retrouve les états Ψ_a et Ψ_b serait significativement différente de la fréquence relative de Ψ_a et Ψ_b dans le monde réel. Ce modèle aurait exactement les mêmes conséquences observables que celui de McCall. Néanmoins, la structure de branchement ne définirait pas de probabilités, du moins, pas celles qui nous intéressent. Si le modèle de McCall peut servir à définir des probabilités, c'est uniquement parce que les proportions de branches coïncident avec la définition fréquentielle. McCall tente d'expliquer cette coïncidence en posant que le choix des branches est aléatoire, c'est-à-dire que deux branches quelconques ont la même chance d'être choisies (p. 4, 78). Mais cette explication suppose qu'on a déjà une notion de probabilité, et donc que le modèle arborescent ne peut à lui seul la définir.

c) La causalité

Il n'y a pas, selon Hume, de lien de nécessité entre cause et effet. Le fait qu'un événement A est toujours suivi d'un événement B n'implique pas logiquement qu'il doit toujours en être ainsi.

McCall tente de justifier un lien de nécessité entre cause et effet au moyen du modèle arborescent. Si certaines conditions initiales A , présentes à un point de branchement, sont suivies par B sur toutes les branches, et qu'il en

1. P. Horwich, *Asymmetries in Time. Problems in the Philosophy of Science*, Cambridge, MIT Press, 1987.

est ainsi partout sur l'arbre, McCall nous dit qu'alors A entraîne nécessairement B (p. 51).

Pourtant, on ne voit pas vraiment en quoi le lien de nécessité est réintroduit. McCall est conscient que, de toute manière, il ne s'agit pas de nécessité logique (p. 54). Si, dans l'univers de Minkowski, le fait que A est toujours suivi de B n'entraîne pas de lien de nécessité entre A et B , parce qu'il aurait pu en être autrement, alors le lien n'est pas non plus réintroduit dans le modèle arborescent, parce que l'arbre aurait pu être autrement. D'ailleurs, l'univers de Minkowski est un cas particulier du modèle arborescent, le cas d'un arbre à une seule branche. Si la conjonction constante de A et B n'implique pas de lien nécessaire dans ce cas particulier, elle n'en implique pas non plus dans le cas plus général. En bref, que Hume ait raison ou tort, il a raison ou tort à la fois dans l'univers de Minkowski et dans l'univers de McCall.

d) Les propriétés essentielles

Une propriété essentielle d'un individu est une propriété qui contribue à la définition de l'individu, une propriété que l'individu ne peut pas ne pas avoir. Selon McCall, le modèle arborescent permet de représenter cette notion. Dans le modèle, une propriété essentielle d'un individu est une propriété que l'individu a à tout instant, sur toute branche, où il existe (p. 226). Ceci (indépendamment, d'ailleurs, de l'émondage) définit un concept, mais probablement pas le concept qu'on voudrait. On se rappelle que la structure de branchement correspond à l'ensemble des possibilités permises par les lois physiques. Ainsi, il est probable que, sur aucune branche de l'arbre, la moitié supérieure d'un des cheveux de Samson ne change spontanément du noir au blond. Cette propriété, néanmoins, ne correspond pas à notre intuition de propriété essentielle, c'est-à-dire de propriété que Samson ne peut pas ne pas avoir. Si tant est qu'on puisse définir les propriétés essentielles (telles qu'on les entend intuitivement) au moyen d'un arbre, cet arbre ne coïncide pas avec celui qui définit les lois physiques. On n'a donc pas, dans ce cas, un seul modèle qui explique deux problèmes distincts, mais bien deux modèles différents.

4. Les probabilités irrationnelles

Supposons que des conditions initiales à l'instant t_1 font, qu'à t_2 , deux états distincts Ψ_a et Ψ_b peuvent résulter avec des probabilités $P_a = 0.3$ et $P_b = 0.7$. Dans le modèle arborescent il y a alors, entre t_1 et t_2 , un point de branchement. À ce point, l'espace tridimensionnel se scinde en dix espaces. On retrouve l'état Ψ_a dans trois de ceux-ci, et l'état Ψ_b dans sept.

Mais qu'arrive-t-il quand les probabilités P_a et P_b sont des nombres irrationnels, c'est-à-dire, qu'on ne peut représenter par le quotient de deux entiers. McCall introduit alors la notion de prisme. Soit $x_1x_2x_3 \dots$ la représentation décimale de P_a . McCall nous dit qu'à un instant entre t_1 et t_2 , l'espace

tridimensionnel se scinde en dix branches, dont x_1 présentent l'état Ψ_b et $9 - x_1$ présentent l'état Ψ_b . La dernière branche n'est pas encore définie. Un tout petit peu plus tard, chacune des dix branches se scinde elle aussi en dix sous-branches. Les branches qui présentaient un état défini continuent de le présenter dans leurs sous-branchements respectifs. Parmi les dix sous-branches qui proviennent de la branche non définie, x_2 présentent l'état Ψ_a et $9 - x_2$ présentent l'état Ψ_b . La dernière sous-branche n'est pas encore définie. En poursuivant ce processus *ad infinitum*, et un en temps fini, McCall réussit à représenter des probabilités irrationnelles.

Les prismes, mieux que toute autre chose, illustrent la vertigineuse complexité du modèle de McCall. Toute probabilité irrationnelle nécessite le fractionnement de l'espace en une quantité indénombrable de copies. Les prismes illustrent aussi à quelle point le modèle pose des questions auxquelles il ne peut donner d'explication : Pourquoi les prismes se réalisent-ils selon un fractionnement décimal plutôt que binaire, ternaire, centésimal ou autre ? Et pourquoi les sous-branchements à l'intérieur des prismes se produisent-ils à un instant plutôt qu'à un autre ?

Cela dit, il y a un type de probabilité que le modèle arborescent ne peut représenter, du moins si l'on admet, avec McCall, que les prismes ont toujours une hauteur temporelle finie. Il s'agit des probabilités irrationnelles qui dépendent du temps de manière continue, comme la probabilité qu'un atome radioactif dégénère. McCall illustre cette situation à la page 158, mais la figure 5.8 ne représente pas le processus correctement. L'atome peut dégénérer à tout instant t et, si petit que soit ∂t , la probabilité qu'il ait dégénéré à $t + \partial t$ est différente de la probabilité qu'il ait dégénéré à t . La représentation d'un tel processus nécessiterait donc la superposition d'une infinité de prismes infiniment rapprochés les uns des autres.

5. Relativité et mécanique quantique

Lorsqu'un branchement s'opère, tout l'espace tridimensionnel se scinde instantanément en un très grand nombre d'espaces. Le processus de branchement paraît donc réintroduire la simultanéité absolue que la relativité restreinte avait éliminée.

Pour établir un modèle arborescent compatible avec la relativité restreinte, McCall propose (p. 32-35, 295-297) que le branchement s'effectue non pas seulement sur des hypersurfaces $t = \text{constante}$, mais aussi sur toute hypersurface $t' = \text{constante}$, où t et t' sont les coordonnées temporelles de deux repères en mouvement relatif uniforme. Le processus, fort complexe, est décrit en détail dans deux articles^{2,3} qui développent les idées générales présentées là-

2. S. McCall, « Information Transfer outside the Light Cone », manuscrit.

3. S. McCall, « Covariant State Vector Reduction and Non-Locality », manuscrit.

dessus dans *A Model of the Universe*. Au prix de cette complexité, le modèle relativiste permet de rendre compte des corrélations d'Einstein, Podolsky et Rosen, indépendamment d'ailleurs de l'émondage des branches.

On rejoint, ici, le type d'explication qu'Everett a proposé pour la mesure en mécanique quantique. Selon la formulation la plus courante de la mécanique quantique, un système peut évoluer de deux manières différentes : (i) d'une manière déterministe, suivant l'équation de Schrödinger et (ii) d'une manière indéterministe, lorsqu'il y a mesure d'une grandeur physique. Dans ce dernier cas, le vecteur d'état se transforme abruptement, de manière imprévisible, en un vecteur propre de l'observable que l'appareil sert à mesurer.

McCall veut d'abord montrer que dans le modèle arborescent, la distinction entre ces deux types d'évolution est naturelle. Pour ce faire, il définit deux processus, qu'il dénote par U et R . Soit S un système qui, à l'instant t_1 , se trouve dans un état Ψ . Soit w un état ou une propriété caractérisant S à un instant ultérieur t_2 . On aura un processus de type U si, à t_2 , toutes les branches sont dans l'état w ou si toutes les branches sont dans l'état non- w . On aura un processus de type R si, à t_2 , certaines branches sont dans l'état w et certaines branches sont dans l'état non- w . McCall nous dit que ces possibilités sont exclusives et exhaustives (p. 122).

Pour que ces possibilités soient exhaustives, il faut que l'état non- w signifie « tout état différent de w », et non pas simplement « tout état orthogonal à w ». Mais alors, les processus R ne correspondent pas à la mesure en mécanique quantique, où les états finaux sont tous mutuellement orthogonaux.

Cela dit, on peut vraisemblablement définir des processus R_1 , plus spécifiques que R , qui correspondent à la mesure quantique. Mais le phénomène de branchement explique-t-il les propriétés de la mesure en mécanique quantique ? Si certains chercheurs répondent à cette question par l'affirmative, la majorité paraît trouver l'explication insatisfaisante. Si tant est, en effet, que la réduction du vecteur d'état postulée par von Neumann nécessite une explication, n'en est-il pas ainsi, *a fortiori*, du processus qu'on nous dit physique de scission de l'espace en de multiples copies ?

Signalons enfin que, dans toute interprétation arborescente de la mesure quantique, on peut en principe établir un moment précis où la mesure est faite. On peut aussi établir une distinction tranchée entre un objet macroscopique qui réalise des mesures, et un objet microscopique qui évolue de façon déterministe. Tout ceci, en principe, se vérifie expérimentalement, bien que les tenants de l'interprétation arborescente peuvent répondre à un résultat expérimental défavorable en reculant les frontières de la distinction.

6. Conclusion

McCall présente une discussion approfondie des énoncés contrefactuels et d'autres conditionnels. Il est vrai qu'un modèle arborescent contribue à

clarifier la sémantique des propositions conditionnelles, mais cela paraît être dans la mesure même où les différentes branches peuvent représenter des mondes possibles. Dans ce cas comme dans la discussion de l'individualité, McCall cherche à résoudre des problèmes de langage par des hypothèses sur la structure du monde physique. Ce type d'inférence, qui s'apparente aux arguments des philosophes d'Elée sur la négation du mouvement, me paraît périlleux. En bref, le réel est indépendant du langage.

Dans sa conclusion, McCall compare le modèle arborescent à la théorie darwinienne et suggère que, dans chacun des deux champs, il s'agit de la meilleure explication. De même que la théorie darwinienne explique un grand nombre de phénomènes naturels, apparemment non reliés, que la théorie de la création n'explique pas, de même le modèle arborescent jette de la lumière sur un grand nombre de problèmes philosophiques distincts.

Mais en fait, la différence est énorme. La théorie de l'évolution n'est pas plus compliquée que la théorie de la création, tandis que le modèle arborescent postule une structure d'univers extrêmement complexe. La théorie darwinienne fait de nombreuses prédictions, alors qu'en plus de trois cents pages McCall ne nous en offre pas une seule (nonobstant la discussion à la page 284). La théorie de l'évolution pose de nombreux problèmes qu'on peut résoudre (Comment les mutations se produisent-elles ? par exemple), tandis que le modèle arborescent pose des problèmes essentiellement insolubles (Comment des univers entiers peuvent-ils disparaître ? Quelle est la structure de branchement à l'intérieur des prismes ?).

En terminant, malgré l'avalanche de remarques critiques, je dois dire que le livre de Storrs McCall est remarquablement bien écrit. La sévérité du jugement tient non pas à quelque carence du travail, mais plutôt à la difficulté des problèmes abordés. L'auteur a fort bien compris les enjeux majeurs des sujets qu'il aborde, et dont il rend compte de façon claire et précise. L'écriture est alerte, vivante et les exemples choisis sont pertinents et souvent humoristiques. Bien que la thèse centrale du livre me paraisse finalement irrecevable, l'ouvrage constitue une excellente introduction à certains des plus importants problèmes de la physique et de la philosophie.

*Département de physique
Université du Québec à Trois-Rivières*