

La physique peut-elle nous apprendre que nous vivons dans un multivers ?

Baptiste Le Bihan
Université de Genève

Institut de Physique de Rennes
13 avril 2021

Introduction



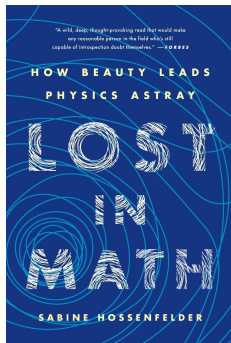
- Certains physiciens soutiennent **qu'il existe une multitude d'autres univers qui, ensemble, constituent un multivers.**
- Il y en a de multiples sortes.
- Dans certaines approches, certains des autres univers peuvent être très similaires à notre propre univers, et inclure des homologues de nous faisant des choses similaires.
- D'autres scénarios impliquent des univers dotés d'autres lois de la nature.



Croire au multivers est logiquement équivalent à croire en Dieu. [...] Ils sont inobservables par hypothèse [...] Vous pouvez y croire si vous le souhaitez, mais ils ne font pas partie de la science.

(Hossenfelder, 2019

<http://backreaction.blogspot.com/2019/07/why-multiverse-is-religion-not-science.html>)

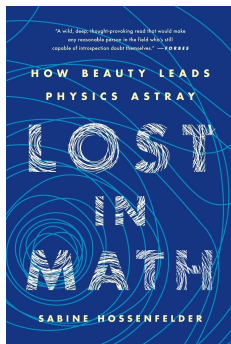


Le cosmologiste Paul Steinhardt qualifie l'idée de multivers de 'baroque, contre-nature, non testable et, en fin de compte, dangereuse pour la science et la société'.

Selon Paul Davies, il s'agit tout simplement d'un 'déisme naïf déguisé en langage scientifique'.

George Ellis prévient que 'les partisans du multivers... redéfinissent implicitement ce que l'on entend par "science"'.

*David Gross trouve que 'cela sent l'ange'.
(Hossenfelder, 2018, p. 184)*



De l'autre côté de la controverse, nous avons Leonard Susskind, qui trouve *'excitant de penser que l'univers peut être beaucoup plus grand, plus riche et [plus] varié que nous ne l'avions jamais imaginé'*. [...] Bernard Carr estime que *'la notion de multivers implique une nouvelle perspective de la nature de la science et il n'est pas surprenant que cela provoque un malaise intellectuel'*. [...] Max Tegmark affirme que les opposants aux multivers ont un *'préjugé émotionnel contre le fait de nous retirer du devant de la scène'*. (Hossenfelder, 2018, p. 184-185)

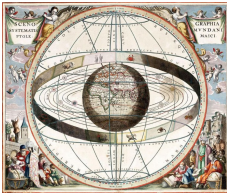
Une approche relevant de la philosophie des sciences

- Qu'est-ce qu'une hypothèse scientifique pour commencer ?
- Objectif: L'hypothèse du multivers est-elle scientifique ?
- Thèse principale:
bien qu'il n'y ait pas de preuve à l'heure actuelle que nous vivons dans un multivers, certaines versions de l'affirmation sont de légitimes hypothèses scientifiques.
- Note : *Simplification qu'une hypothèse scientifique doit en principe pouvoir être établie. Des hypothèses peuvent être fausses et fécondes, par exemple, en permettant d'idéaliser des situations complexes ou pour réaliser des simulations numériques.*

Qu'est-ce qu'une hypothèse scientifique ?

- Nous avons besoin d'un **principe de démarcation** pour distinguer les **hypothèses scientifiques** des **hypothèses non scientifiques** dans le contexte de la physique.
- Elle doit avoir une **signature empirique** : une **façon dont le monde doit être si l'hypothèse est correcte**.
- **Le critère de falsifiabilité**. Si l'hypothèse est scientifique, **des observations possibles pourraient montrer que l'hypothèse est fausse**. (Popper, 1959)
- **Le critère d'explication**. Si l'hypothèse est scientifique, elle doit être une bonne explication des données accumulées jusqu'à présent et aider à résoudre les énigmes persistantes. (Kuhn, 1962)
- Cependant, il arrive qu'une hypothèse soit une bonne explication sans être présentement falsifiable.

Du modèle géocentrique au modèle héliocentrique



From Andreas Cellarius' *Harmonia Macrocosmica* (1660).

- Passage du géocentrisme à l'héliocentrisme afin d'obtenir une meilleure explication correspondant aux données astronomiques (en évitant les épicycles). Commencé avec le *Des révolutions des orbes célestes* de Copernic. (1543)
- Mais le héliocentrisme n'a pas été immédiatement confirmé empiriquement. La première preuve observationnelle que la Terre est en mouvement est parfois attribuée à James Bradley (en 1725-1728).
- Ceci montre qu'une théorie peut être scientifique en l'absence de confirmation empirique si elle apparaît comme 1) une bonne explication des données accumulées et 2) elle a le potentiel d'être confirmée dans le futur.

Qu'est-ce qu'un multivers ?

- Une théorie du multivers est une théorie selon laquelle coexistent, en parallèle, d'autres univers auxquels nous n'avons **aucun accès observationnel**.
- La façon dont nous faisons la **distinction entre un autre univers, et une partie de notre propre univers**, peut dépendre du contexte historique, et de ce à quoi nous avons accès.

Les univers-îles



Henrietta Swan Leavitt (1868-1921)

- Débat au début du 20ème siècle : **notre galaxie est-elle la totalité de la réalité physique** ? Ou certaines des nébuleuses observées dans le ciel sont-elles incroyablement lointaines, en dehors de notre propre galaxie ?
- Henrietta Leavitt met au point en 1908 une **nouvelle technique basée sur la luminosité de certaines étoiles** qui permet aux astronomes de **cartographier l'univers** : ces étoiles sont les premières **chandelles standard**.
- En utilisant la méthode de Leavitt, Hubble montre en 1923-24 que de **nombreuses nébuleuses ne font pas partie de notre galaxie et sont en fait d'autres galaxies** - les '**univers-îles**'.
- Ce qui est considéré comme un autre univers change avec le développement de la science.

L'univers observable et au delà

- Nous avons ensuite appris que ces galaxies font partie d'unités supérieures, les amas de galaxies, eux-mêmes assemblés en filaments cosmiques.
- C'est l'univers observable auquel nous sommes causalement connectés.
- La vitesse de la lumière limite la distance à laquelle nous pouvons accéder directement en utilisant la lumière ou d'autres types de signaux.
- Ce que l'on appelle l'**horizon cosmologique** : la distance à laquelle nous pouvons voir.
- Au-delà se trouve l'**univers non observable**, et la **seule façon de spéculer sur ce qui s'y trouve est de recourir à des modèles cosmologiques théoriques.**

Où sont les autres univers ?

- Quatre propositions impliquant un multivers.
- Dans le [modèle de l'inflation éternelle en cosmologie](#) : d'autres univers existent [au-delà de l'horizon cosmologique](#).
- Dans la [théorie des cordes](#) : la structure de la théorie, selon certains, suggère l'existence de nombreux univers. Mais la théorie des cordes ne nous dit pas où ils se trouvent.
- Dans les [modèles cycliques](#) : les autres univers sont situés dans le [temps](#).
- En [mécanique quantique](#) : les autres univers [ne sont pas à un autre endroit de l'espace, mais co-existent dans une autre dimension](#).

Multivers numéro 1: La théorie des cordes

- La théorie des cordes est souvent appréhendée voir motivée comme une théorie ultime qui expliquerait tout.
- Une théorie ultime est censée être absolument fondamentale : il ne resterait rien à expliquer.
- La théorie des cordes admet un nombre incroyablement élevé de solutions non triviales : un paysage de solutions.
- Si la théorie est compatible avec tous ces univers, pourquoi vivons-nous dans cet univers-ci tel que décrit par le modèle standard de la physique des particules ?

Le problème du paysage

- Si la théorie des cordes est une théorie finale, alors elle devrait tout expliquer. (Smolin, 2013)
- Elle ne devrait pas laisser comme un fait brut, inexpliqué, que notre monde a la structure qu'il a, quand il aurait pu être très différent selon la théorie.
- Une solution proposée est l'existence d'un multivers avec un univers réel associé à chaque solution.
- Mais devons-nous vraiment essayer d'expliquer pourquoi nous vivons dans un monde décrit par une solution de la théorie plutôt que dans un monde décrit par une autre solution ?
- Certains chercheurs comme Smolin pensent que nous le devrions, parce qu'ils croient, implicitement ou explicitement, à un principe intéressant mais aussi extrêmement discutable...

Le principe de raison suffisante



*Gottfried Wilhelm Leibniz
(1646-1716)*

- Le **principe de raison suffisante** (PRS) : **Tout doit avoir une explication.**
- Pour Smolin, il doit y avoir une explication à la raison pour laquelle nous observons les lois de la nature que nous avons, et de pourquoi nous vivons dans ce monde possible plutôt que dans un autre.
- Ces motivations posent question car il ne sera jamais possible de savoir si la réalité satisfait le PRS et, dans le cas contraire, où s'arrêter dans la quête d'explications. (Read and Le Bihan à paraître)

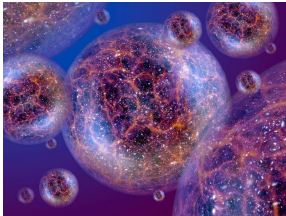
Le principe de raison suffisante



*Gottfried Wilhelm Leibniz
(1646-1716)*

- Le multivers des cordes basé sur l'existence de nombreuses solutions d'une théorie ne conduit à aucune signature empirique et répond à des desiderata extra-scientifiques.
- L'hypothèse du multivers des cordes, formulée en réponse au problème du paysage, n'est pas une hypothèse scientifique.
- Cependant, elle pourrait peut-être se transformer en un multivers scientifique via un mécanisme cosmologique.

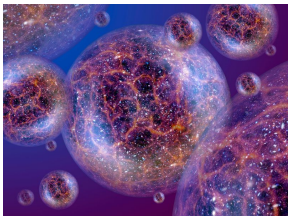
Multivers numéro 2 : L'inflation éternelle



*Detlev Van Ravenswaay/Science
Photo Library/Corbis*

- En cosmologie scientifique : au tout début de l'univers, le **Big Bang a été suivi d'une période d'expansion rapide de l'univers : l'inflation.**
- Dans la plupart des modèles avec inflation, **l'inflation ne s'arrête jamais.** Les conditions qui ont donné naissance à notre propre univers se reproduisent un nombre infini de fois.
- Par conséquent, cette inflation éternelle devrait donner naissance à une infinité d'autres univers 'bulles' au-delà de l'horizon cosmologique.

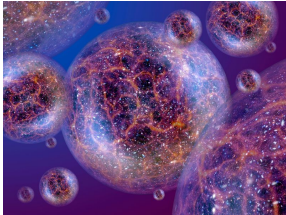
Multivers numéro 2 : L'inflation éternelle



*Detlev Van Ravenswaay/Science
Photo Library/Corbis*

- L'inflation éternelle pourrait en principe être associée à une signature empirique, bien que certains problèmes empêchent une telle association pour le moment.
- Un problème est que la théorie n'est pas falsifiable pour le moment... seules des solutions particulières de la théorie le sont.
- Néanmoins, le fait que certains modèles puissent être falsifiés est déjà une grande victoire pour les partisans de ce multivers. (Carroll, 2019)

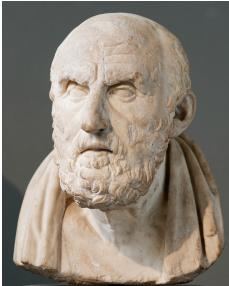
Multivers numéro 2 : L'inflation éternelle



*Detlev Van Ravenswaay/Science
Photo Library/Corbis*

- Une zone grise : incertain que la théorie dans son ensemble puisse être testée à l'avenir.
- Certains ont fait valoir que l'explication sans la prédictivité pourrait suffire à la scientificité. Mais il semble clair qu'elle ne peut atteindre le même degré de confirmation et donc de scientificité.

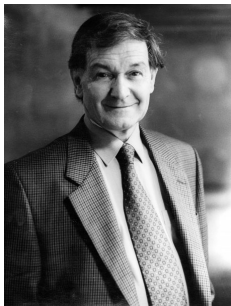
Multivers numéro 3 : Les modèles cycliques



Chrysippe de Soles
(-279 / -206)

- *L'ekpurosis* est un aspect de la cosmologie des stoïciens. Elle fait référence à la destruction périodique du cosmos par le feu.
- Ici, en supposant l'existence des univers successifs, le multivers est étalé dans le temps avec une infinité d'univers successifs.

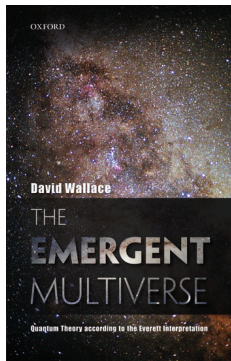
Multivers numéro 3 : Les modèles cycliques



Sir Roger Penrose (1931-)

- Le prix Nobel Roger Penrose a présenté un modèle de cosmologie cyclique avec une signature empirique. (Penrose, 2010)
- L'un des outils les plus puissants de la cosmologie scientifique est le fond diffus cosmologique (CMB), qui est la lueur résiduelle du Big Bang.
- Le modèle de Penrose implique qu'il devrait y avoir des traces subtiles de l'univers précédent dans la lueur résiduelle du Big Bang.
- Les hypothèses de multivers cycliques peuvent être scientifiques en expliquant les données accumulées et en ayant une signature empirique.

Multivers numéro 4 : Le multivers quantique

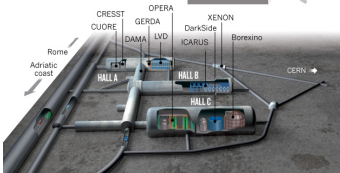
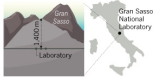


- La mécanique quantique everettienne appréhende l'équation de Schrödinger comme fournissant une description complète : pas de variables cachées (locales ou non-locales) et le postulat de réduction de Born n'a pas de valeur ontologique. **Toutes les possibilités décrites par l'équation co-existent.**
- Dans la version moderne, qui diffère de la version d'Everett, les différentes possibilités correspondent à des mondes différents.
- Subtilité : **le multivers n'est pas fondamental mais émerge d'une réalité plus fondamentale** associée à l'état quantique universel - difficile à articuler à l'aide de catégories ontologiques.

Multivers numéro 4 : Le multivers quantique

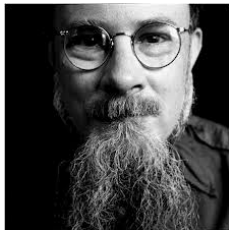
THE A, B AND C OF GRAN SASSO

Experiments at the Gran Sasso National Laboratory are housed in and around three huge halls carved deep inside the mountain, where they are shielded from cosmic rays by 1,400 metres of rock.



- Une hypothèse scientifique ?
- Problème : ce n'est qu'une interprétation du formalisme quantique parmi d'autres. Ex: approches bohmiennes et modèles GRW et CSL (effondrement spontané).
- Les modèles CSL prédisent des radiations spécifiques X et gamma observables en principe (recherche en cours sein du laboratoire de Gran Sasso). (Curceanu et al., 2017)
- La mécanique everettienne est falsifiable. Mais elle demeure dans une situation de sous-détermination à l'égard d'autres théories de la mécanique quantique.

Multivers numéro 5 : Les multivers philosophiques



David Lewis (1941-2001)

- On trouve d'autres sortes de multivers encore plus étranges en philosophie.
- Comme le **réalisme modal** de David Lewis, ou **l'hypothèse de l'univers mathématique de Tegmark**.
- **Réalisme modal** : ce qui nous semble possible correspond à de réels mondes. **Ces mondes possibles sont tout aussi réels et concrets que le monde actuel dans lequel nous vivons.**
- Semble purement motivé par des motivations rationalistes.
- Cependant, **parfois nous pouvons obtenir des contraintes fortes et inattendues de la physique** qui viennent contraindre la spéculation philosophique.

Les multivers philosophiques

- Wüthrich (2020) soutient que le réalisme modal de Lewis est en tension avec l'émergence potentielle de l'espace-temps dans certaines approches de la gravité quantique (e.g.: théorie des cordes, gravité quantique à boucles, théorie des ensembles causaux,...).
- Lewis distingue les différents mondes en terme de discontinuité spatio-temporelle. Suppose que l'espace-temps est ontologiquement fondamental.
- Si l'espace-temps n'existe pas fondamentalement dans le monde actuel, alors le monde actuel ne fait pas partie des mondes possibles de Lewis.
- Nous devrions être sceptiques, dans une certaine mesure, quant à notre capacité présente de déterminer que quelque chose restera toujours déconnecté de l'enquête empirique à l'avenir.

Conclusion

- D'une part, les hypothèse impliquant un multivers, lorsqu'elles sont basées uniquement sur des principes non empiriques n'ont pas une valeur de justification épistémique. Elles peuvent néanmoins constituer des principes directeurs précieux dans la recherche d'une nouvelle physique, et donc être scientifiques dans un sens restreint.
- D'autre part, les idées de multivers peuvent être pleinement scientifiques si elles ont une signature empirique, ou pourraient en principe en avoir une (comme dans le cas du multivers cyclique).
- Le cas de l'inflation éternelle est plus difficile à catégoriser car il n'est pas clair si ce scénario pourrait en principe être confirmé empiriquement.
- En principe, la physique pourrait nous apprendre un jour que nous vivons dans un multivers.

Bibliographie

- Carroll, S. (2019). Beyond falsifiability: Normal science in a multiverse. In Dawid, R., Dardashti, R., and Thébault, K., editors, *Epistemology of Fundamental Physics: Why Trust a Theory?* Cambridge University Press.
- Curceanu, C., Bartalucci, S., Bassi, A., Bazzi, M., Bertolucci, S., Berucci, C., Bragadireanu, A., Cagnelli, M., Clozza, A., De Paolis, L., et al. (2017). Underground tests of quantum mechanics: Whispers in the cosmic silence? In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 880, page 012045. IOP Publishing.
- Hossenfelder, S. (2018). *Lost in Math: How Beauty Leads Physics Astray*. Hachette UK.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- Penrose, R. (2010). *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe*. Random House.
- Popper, K. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge.
- Read, J. and Le Bihan, B. (forthcoming). The landscape and the multiverse: What's the problem? *Synthese*.
- Smolin, L. (2013). A perspective on the landscape problem. *Foundations of Physics*, 43(1):21–45.
- Wüthrich, C. (2020). When the actual world is not even possible. In Darby, G., Glick, D., and Marmodoro, A., editors, *The Foundation of Reality: Fundamentality, Space and Time*. Oxford University Press.