

Unification de la gravité avec les autres forces fondamentales

Nicolae Sfetcu

06.03.2020

Sfetcu, Nicolae, «Unification de la gravité avec les autres forces fondamentales», SetThings (6 mars 2020), URL = <https://www.telework.ro/fr/unification-de-la-gravite-avec-les-autres-forces-fondamentales/>

Email: nicolae@sfetcu.com



Cet article est sous licence Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International. Pour voir une copie de cette licence, visitez <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Une traduction partielle de Sfetcu, Nicolae, "Epistemologiagravitațieiexperimentale – Raționalitateștiințifică", SetThings (1 august 2019), MultiMedia Publishing (ed.), ISBN: 978-606-033-234-3, DOI: 10.13140/RG.2.2.15421.61925, URL = <https://www.telework.ro/ro/e-books/epistemologia-gravitatiei-experimentale-rationalitatea-stiintifica/>

BIBLIOGRAPHIE..... 8

La **gravité bimétrique** est une classe de théories de la gravité modifiées dans lesquelles deux tenseurs métriques sont utilisés au lieu d'un¹, la deuxième métrique étant utilisée à des énergies élevées. Si les deux métriques interagissent, il existe deux types de gravitons, l'un massif et l'autre sans masse. L'ensemble des théories tend à expliquer la gravité massive². Ces théories sont celles de Nathan Rosen (1909-1995)³ ou de Modified Newtonian Dynamics (MOND) de Mordehai Milgrom. Les évolutions de la gravité de masse ont encouragé l'émergence de nouvelles théories cohérentes de la gravité bimétrique⁴, mais aucune ne reflète mieux les observations physiques que la théorie de la relativité générale⁵. Certaines de ces théories (MOND, par exemple) sont des alternatives à l'énergie sombre. D'autres théories bimétriques ne prennent pas en compte les gravitons massifs et ne modifient pas la loi de Newton, décrivant l'univers comme une variété de deux métriques riemanniennes couplées, où la matière interagit par gravité. Certains d'entre eux stipulent la vitesse variable de la lumière à haute densité d'énergie.⁶

La *bigravité de Rosen* (1940)⁷ propose qu'à chaque point de l'espace-temps il existe un tenseur métrique euclidien en plus du tenseur métrique riemannien. Ainsi, à chaque point de l'espace-temps, il y a deux valeurs. Le premier tenseur métrique décrit la géométrie de l'espace-temps, et donc le champ gravitationnel. Le deuxième tenseur métrique fait référence à l'espace-temps plat et décrit les forces d'inertie. La bigravité de Rosen satisfait au principe de covariance et d'équivalence. La bigravité de Rosen et la relativité générale diffèrent dans le cas de la propagation des ondes électromagnétiques, du champ externe d'une étoile à haute densité et du comportement des ondes gravitationnelles intenses qui se propagent à travers un champ gravitationnel statique fort. Les prédictions du rayonnement gravitationnel de la théorie de Rosen ont été réfutées par les observations du pulsar binaire Hulse-Taylor.⁸

¹N. Rosen, « General Relativity and Flat Space. I », *Physical Review* 57, n° 2 (15 janvier 1940): 57 (2): 147–150, <https://doi.org/10.1103/PhysRev.57.147>.

²S. F. Hassan et Rachel A. Rosen, « Bimetric Gravity from Ghost-Free Massive Gravity », *Journal of High Energy Physics* 2012, n° 2 (24 février 2012): 1202 (2): 126, [https://doi.org/10.1007/JHEP02\(2012\)126](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2012)126).

³Rosen, « General Relativity and Flat Space. I », 57 (2): 147–150.

⁴Lisa Zyga, « Gravitational Waves May Oscillate, Just like Neutrinos », 2017, <https://phys.org/news/2017-09-gravitational-oscillate-neutrinos.html>.

⁵Clifford Will, *The Renaissance of General Relativity, in The New Physics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1992), 18.

⁶J. P. Petit et G. D'Agostini, « Cosmological bimetric model with interacting positive and negative masses and two different speeds of light, in agreement with the observed acceleration of the Universe », *Modern Physics Letters A* 29, n° 34 (27 octobre 2014): 29 (34): 1450182, <https://doi.org/10.1142/S021773231450182X>.

⁷Rosen, « General Relativity and Flat Space. I », 57 (2): 147–150.

⁸Will, *The Renaissance of General Relativity, in The New Physics*, 18.

La *bigravité massive* est apparue en 2010, développée par Claudia de Rham, Gregory Gabadadze et Andrew Tolley (dRGT)⁹. Une « métrique de référence » non dynamique apparaît dans la théorie dRGT. La valeur métrique de référence doit être spécifiée manuellement. Une nouvelle extension a été introduite par Fawad Hassan et Rachel Rosen.¹⁰

La **gravité quantique bohmienne** incorpore la configuration réelle en théorie comme variable de base et stipule qu'elle évolue de manière naturelle suggérée par la symétrie et l'équation de Schrodinger¹¹. La théorie résout le problème du temps (le même rôle que dans TGR), et en partie le problème du difféomorphisme. Il n'y a aucun problème avec le rôle des observateurs et des observables car ils ne jouent aucun rôle dans cette théorie. La fonction d'onde dépendante du temps, qui satisfait l'équation de Schrodinger, n'est pas nécessaire ici.

La gravité quantique bohmienne implique une transition simple de la mécanique quantique, incorporant la configuration réelle dans la théorie comme variable de base et stipulant qu'elle évolue de manière naturelle suggérée par la symétrie et l'équation de Schrodinger.

Les domaines d'applicabilité de la relativité générale (RG) et de la théorie quantique des champs (TCC) sont différents, de sorte que la plupart des situations nécessitent l'utilisation d'une seule des deux théories¹². Les chevauchements se produisent dans des régions de très petite dimension et de masse élevée, comme le trou noir ou le premier univers (immédiatement après le Big Bang). Ce conflit est censé être résolu uniquement en unifiant la gravité avec les trois autres interactions, afin d'intégrer RG et TCC dans une seule théorie. La théorie des cordes stipule qu'au début de l'univers (jusqu'à 10^{-43} secondes après le Big Bang), les quatre forces fondamentales étaient une seule force fondamentale. Selon le physicalisme en philosophie, une théorie finale (TF) physique coïncidera avec une théorie philosophique finale.

Plusieurs théories unificatrices ont été proposées. Une grande unification implique l'existence d'une force électro-nucléaire. La dernière étape de l'unification nécessiterait une théorie qui inclue à la fois la mécanique quantique et la gravité par la relativité générale (« la théorie finale »). Après 1990, certains physiciens considèrent que la

⁹Claudia de Rham, Gregory Gabadadze, et Andrew J. Tolley, « Resummation of Massive Gravity », *Physical Review Letters* 106, n° 23 (10 juin 2011): 106 (23): 231101, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.231101>.

¹⁰Hassan et Rosen, « Bimetric Gravity from Ghost-Free Massive Gravity », 1202 (2): 126.

¹¹Sheldon Goldstein et Stefan Teufel, « Quantum spacetime without observers: ontological clarity and the conceptual foundations of quantum gravity », *arXiv:quant-ph/9902018*, 5 février 1999, <http://arxiv.org/abs/quant-ph/9902018>.

¹²S. Carlip, « Quantum Gravity: a Progress Report », *Reports on Progress in Physics* 64, n° 8 (1 août 2001): 64 (8): 885–942, <https://doi.org/10.1088/0034-4885/64/8/301>.

théorie M à 11 dimensions, souvent identifiée à l'une des cinq théories des supercordes perturbateurs, ou parfois à la supergravité à supersymétrie maximale supersymétrique à 11 dimensions, est la théorie finale. L'idée de la théorie M¹³ s'inspire des idées de la théorie de Kaluza-Klein, dans laquelle il a été constaté que l'utilisation d'un espace-temps à 5 dimensions pour la relativité générale (une des dimensions étant petite) est vue, du point de vue à 4 dimensions, comme la relativité générale habituelle avec l'électrodynamique de Maxwell. Une propriété importante de la théorie des cordes est la supersymétrie (version de la théorie des supercodes) qui, avec les dimensions supplémentaires, sont les deux principales propositions pour résoudre le problème. Les dimensions supplémentaires permettraient à la gravité de se propager aux autres dimensions, les autres forces restant limitées dans un espace-temps à 4 dimensions.

Les tentatives d'utilisation de la gravité quantique à boucle (GCB) dans une TF ont échoué, mais les partisans de ce programme poursuivent leurs recherches.¹⁴

Il y a des tentatives pour développer une théorie finale à travers d'autres théories, telles que la théorie causale des systèmes de fermions, qui contient les deux théories physiques actuelles (la relativité générale et la théorie des champs quantiques) comme cas limites. Une autre théorie est celle des ensembles causaux. Une autre proposition est l'E8 de Garrett Lisi, qui propose l'unification au sein du groupe Lie¹⁵. Le modèle Strand de Christoph Schiller tente de refléter la symétrie jauge du modèle standard de la physique des particules, et une autre version implique ER=EPR, une conjecture en physique proposant que les particules intriquées soient connectées au travers d'un trou de ver, qui prétend que les particules inséparables sont liées par un trou de ver (ou pont Einstein-Rosen).¹⁶

Jürgen Schmidhuber est pour la TF, déclarant que les théorèmes d'incomplétude de Gödel¹⁷ ne sont pas pertinents pour la physique computationnelle¹⁸. La plupart des

¹³Steven Weinberg, *Dreams Of A Final Theory: The Search for The Fundamental Laws of Nature* (Random House, 2010).

¹⁴Sundance Bilson-Thompson et al., « Particle Identifications from Symmetries of Braided Ribbon Network Invariants », *arXiv:0804.0037 [hep-th]*, 1 avril 2008, <http://arxiv.org/abs/0804.0037>.

¹⁵A. Garrett Lisi, « An Exceptionally Simple Theory of Everything », *arXiv:0711.0770 [gr-qc, physics:hep-th]*, 6 novembre 2007, <http://arxiv.org/abs/0711.0770>.

¹⁶Ron Cowen, « The Quantum Source of Space-Time », *Nature News* 527, n° 7578 (19 novembre 2015): 527 (7578): 290–293, <https://doi.org/10.1038/527290a>.

¹⁷Les théorèmes d'incomplétude de Gödel sont deux théorèmes de la logique mathématique qui établissent les limitations inhérentes à tous les systèmes axiomatiques, à l'exception des plus triviaux, capables d'arithmétique. Le premier théorème déclare que toute théorie effectivement générée, capable d'exprimer l'arithmétique élémentaire, ne peut être à la fois cohérente et complète.

¹⁸Jürgen Schmidhuber, « A Computer Scientist's View of Life, the Universe, and Everything. Lecture Notes in Computer Science », 1997, 201–208, <http://people.idsia.ch/~juergen/everything/>.

physiciens soutiennent que le théorème de Gödel n'implique pas l'impossibilité d'une TF¹⁹. Certains physiciens, dont Einstein, estiment que les modèles théoriques ne doivent pas être confondus avec la vraie nature de la réalité et soutiennent que les approximations n'arriveront jamais à une description complète de la réalité²⁰. Un débat philosophique porte sur la question de savoir si une théorie finale peut être appelée la *loi fondamentale de l'univers*²¹. Les partisans réductionnistes de la TF affirment que la théorie est la loi fondamentale. Un autre point de vue est que les lois émergentes (comme la deuxième loi de la thermodynamique et la théorie de la sélection naturelle) doivent être considérées comme fondamentales, et donc indépendantes.

Le nom de « théorie finale » est contredit par la nature probabiliste des prévisions de mécanique quantique, la sensibilité aux conditions initiales, les limitations dues aux horizons d'événements et d'autres difficultés déterministes. Frank Close contredit l'idée de TF affirmant que les couches de la nature sont comme les couches d'oignon, et le nombre de ces couches pourrait être infini²², impliquant une série infinie de théories physiques. Weinberg²³ déclare qu'étant donné qu'il est impossible de calculer avec précision même un vrai projectile dans l'atmosphère terrestre, nous ne pouvons pas parler de TF.

L'unification n'implique pas nécessairement la réduction. La théorie quantique des champs et la relativité générale sont elles-mêmes des théories unifiées. La relativité générale est une généralisation gravitationnelle de la théorie spéciale de la relativité qui unifie l'électromagnétisme avec la mécanique classique non gravitationnelle, et la théorie des champs quantiques est une combinaison de relativité restreinte et de mécanique quantique. Le modèle standard est souvent présenté comme un exemple d'unification réussie. Dans la tentative d'unifier la gravité avec les autres forces, la gravité quantique à boucles est une version « minimaliste » (c'est juste une tentative de quantifier la relativité générale). La théorie des cordes essaie d'être « la théorie du tout », dans laquelle un seul type d'interaction détermine tous les autres aspects de la réalité.

Entre la théorie quantique et la relativité générale, il existe des problèmes de compatibilité conceptuelle dans le développement de la gravité quantique: l'indépendance de fond de la relativité générale en raison de l'absence d'un cadre de référence préféré, s'oppose à la géométrie de la théorie quantique qui implique une dépendance de fond à l'existence d'un cadre

¹⁹Jürgen Schmidhuber, « Hierarchies of generalized kolmogorov complexities and nonenumerable universal measures computable in the limit », *International Journal of Foundations of Computer Science* 13, n° 04 (1 août 2002): 13 (4): 587–612, <https://doi.org/10.1142/S0129054102001291>.

²⁰Abraham Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford ; New York: Oxford University Press, 2005), chap. 17.

²¹Weinberg, *Dreams Of A Final Theory*.

²²Frank Close, *The New Cosmic Onion: Quarks and the Nature of the Universe*, Revised edition (New York: CRC Press, 2006).

²³Weinberg, *Dreams Of A Final Theory*.

de référence préféré²⁴. La métrique en relativité générale détermine la géométrie de l'espace-temps et agit comme un potentiel. Parce qu'ils agissent d'une variable dynamique, ils avèrent que la géométrie elle-même est dynamique. La théorie quantique nécessite une géométrie fixe, résultant en un traitement très différent de l'espace-temps par rapport à la GR. Une théorie de la gravité quantique peut abandonner la dépendance de fond, ou la théorie quantique peut être modifiée.

Selon Reiner Hedrich, la théorie des cordes est une construction mathématique sans aucun contrôle empirique, qui semble transcender de plus en plus le contexte de la physique, en augmentant l'auto-immunisation, devenant finalement une forme métaphysique de la nature de l'inspiration mathématique²⁵. Le retour à un caractère métaphysique doit être vu comme une étape rétrograde. La théorie des cordes peut être comprise comme un retour à l'idéal ancien d'un approfondissement de la nature exclusivement par notre intellect (mathématique), sans observations ni dispositifs expérimentaux. Jeremy Butterfield et Christopher Isham soulignent que l'immense autoréférence dans toutes les théories de la gravité quantique est une conséquence de l'absence de données empiriques, de la signification métaphysique des hypothèses et des prédispositions, et de l'appareil mathématique et du modèle théorique sur lesquels ces théories sont conçues.²⁶

La base mathématique de la théorie des cordes (une version étendue de l'appareil de la théorie quantique des champs) n'a pas changé de manière significative au cours de son évolution. Il y a eu des tentatives d'unifier la gravité avec d'autres forces sur des bases mathématiques, telles que les théories d'Einstein, Schrodinger, Misner et Wheeler sur l'unification géométrique de la gravité et de l'électromagnétisme, mais elles ont échoué²⁷. Tous les chercheurs, qu'ils soient partisans ou critiques de la théorie finale, tentent de trouver une réponse à la question de savoir pourquoi cette unification n'a pas réussi jusqu'à présent. Après tout, il n'y a même pas de consensus sur la définition de ce qu'est réellement l'unification et dans quelle mesure elle peut refléter épistémiquement cette éventuelle unité ontique. Nos limites épistémiques pourraient rendre une telle exploration impossible.

²⁴Steven Weinstein, « Absolute Quantum Mechanics », Preprint, 2000, 52: 67-73, <http://philsci-archive.pitt.edu/836/>.

²⁵Reiner Hedrich, « The Internal and External Problems of String Theory: A Philosophical View », *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie* 38, n° 2 (2006): 261–278.

²⁶Jeremy Butterfield et Chris Isham, « Spacetime and the Philosophical Challenge of Quantum Gravity », in *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale* (Cambridge University Press, 2001), 33-89.

²⁷Robert Weingard, « A Philosopher Looks at String Theory », *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1988 (1988): 95-106.

Pratiquement, les philosophes des sciences sont sceptiques quant aux motivations philosophiques de cette unité et à son succès scientifique.²⁸

²⁸Nancy Cartwright, *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science* (Cambridge University Press, 1999).

Bibliographie

- Bilson-Thompson, Sundance, Jonathan Hackett, Lou Kauffman, et Lee Smolin. « Particle Identifications from Symmetries of Braided Ribbon Network Invariants ». *arXiv:0804.0037 [hep-th]*, 1 avril 2008. <http://arxiv.org/abs/0804.0037>.
- Butterfield, Jeremy, et Chris Isham. « Spacetime and the Philosophical Challenge of Quantum Gravity ». In *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale*. Cambridge University Press, 2001.
- Carlip, S. « Quantum Gravity: a Progress Report ». *Reports on Progress in Physics* 64, n° 8 (1 août 2001): 885-942. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/64/8/301>.
- Cartwright, Nancy. *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge University Press, 1999.
- Close, Frank. *The New Cosmic Onion: Quarks and the Nature of the Universe*. Revised edition. New York: CRC Press, 2006.
- Cowen, Ron. « The Quantum Source of Space-Time ». *Nature News* 527, n° 7578 (19 novembre 2015): 290. <https://doi.org/10.1038/527290a>.
- Goldstein, Sheldon, et Stefan Teufel. « Quantum spacetime without observers: ontological clarity and the conceptual foundations of quantum gravity ». *arXiv:quant-ph/9902018*, 5 février 1999. <http://arxiv.org/abs/quant-ph/9902018>.
- Hassan, S. F., et Rachel A. Rosen. « Bimetric Gravity from Ghost-Free Massive Gravity ». *Journal of High Energy Physics* 2012, n° 2 (24 février 2012): 126. [https://doi.org/10.1007/JHEP02\(2012\)126](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2012)126).
- Hedrich, Reiner. « The Internal and External Problems of String Theory: A Philosophical View ». *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie* 38, n° 2 (2006): 261–278.
- Lisi, A. Garrett. « An Exceptionally Simple Theory of Everything ». *arXiv:0711.0770 [gr-qc, physics:hep-th]*, 6 novembre 2007. <http://arxiv.org/abs/0711.0770>.
- Pais, Abraham. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2005.
- Petit, J. P., et G. D'Agostini. « Cosmological bimetric model with interacting positive and negative masses and two different speeds of light, in agreement with the observed acceleration of the Universe ». *Modern Physics Letters A* 29, n° 34 (27 octobre 2014): 1450182. <https://doi.org/10.1142/S021773231450182X>.
- Rham, Claudia de, Gregory Gabadadze, et Andrew J. Tolley. « Resummation of Massive Gravity ». *Physical Review Letters* 106, n° 23 (10 juin 2011): 231101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.231101>.
- Rosen, N. « General Relativity and Flat Space. I ». *Physical Review* 57, n° 2 (15 janvier 1940): 147-50. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.57.147>.
- Schmidhuber, Jürgen. « A Computer Scientist's View of Life, the Universe, and Everything. Lecture Notes in Computer Science », 1997. <http://people.idsia.ch/~juergen/everything/>.
- . « Hierarchies of generalized kolmogorov complexities and nonenumerable universal measures computable in the limit ». *International Journal of Foundations of Computer Science* 13, n° 04 (1 août 2002): 587-612. <https://doi.org/10.1142/S0129054102001291>.
- Weinberg, Steven. *Dreams Of A Final Theory: The Search for The Fundamental Laws of Nature*. Random House, 2010.
- Weingard, Robert. « A Philosopher Looks at String Theory ». *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1988 (1988): 95–106.

- Weinstein, Steven. « Absolute Quantum Mechanics ». Preprint, 2000. <http://philsci-archive.pitt.edu/836/>.
- Will, Clifford. *The Renaissance of General Relativity, in The New Physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- Zyga, Lisa. « Gravitational Waves May Oscillate, Just like Neutrinos », 2017. <https://phys.org/news/2017-09-gravitational-oscillate-neutrinos.html>.