

Gravité et tests gravitationnels

Nicolae Sfetcu

13.11.2019

Sfetcu, Nicolae, « Gravité et tests gravitationnels », SetThings (13 novembre 2019), URL = <https://www.setthings.com/fr/gravite-et-tests-gravitationnels/>

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, "Epistemologia gravitației experimentale – Raționalitatea științifică", SetThings (1 august 2019), MultiMedia Publishing (ed.), ISBN: 978-606-033-234-3, DOI: 10.13140/RG.2.2.15421.61925, URL = <https://www.setthings.com/ro/e-books/epistemologia-gravitatiei-experimentale-rationalitatea-stiintifica/>

GRAVITÉ.....2

TESTS GRAVITATIONNELS.....3

BIBLIOGRAPHIE.....7

Gravité

La gravité a un caractère universel, mais son pouvoir décroît rapidement avec la distance, constituant la plus faible des quatre forces fondamentales de la physique.¹ Au 4^{ème} siècle avant JC, le philosophe grec Aristote considérait comme la cause de la chute des corps lourds la tendance à se déplacer vers leur lieu naturel.² Dans le Livre VII de *De Architectura*, l'ingénieur et architecte romain Vitruve soutient que la gravité ne dépend pas du « poids » d'une substance, mais plutôt de sa « nature ». ³ L'astronome et mathématicien indien Brahmagupta a soutenu que la Terre est sphérique et attire les objets.⁴ Au dix-septième siècle, Galilée découvrit que, contrairement aux enseignements d'Aristote, tous les objets accélèrent de manière égale lorsqu'ils tombaient.⁵ Après la description de Newton de la gravité en tant que force, la relativité générale considère que la gravité est une conséquence de la courbure de l'espace-temps due à la distribution de masse. Selon la théorie principale actuelle, la gravité est apparue avec la naissance de l'Univers, à l'époque de Planck (10^{-43} secondes après le Big Bang). Actuellement, une théorie quantique est en cours de développement qui tente d'unifier la gravité avec les trois autres forces fondamentales de la nature. La mécanique quantique avec la théorie quantique des champs⁶ et la relativité générale sont les théories fondamentales dans lesquelles la gravité est abordée.

¹ Les quatre forces « fondamentales » sont la force électromagnétique, la force nucléaire «faible» responsable de la désintégration radioactive, la force nucléaire «forte» reliant les éléments constitutifs des noyaux, et la force gravitationnel.

² Edward Grant, *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages: Their Religious, Institutional and Intellectual Contexts* (Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 1996), 60-61.

³ Vitruvius Pollio, *De architectura* (Torino: Giulio Einaudi, 1997), 215.

⁴ Muḥammad ibn Aḥmad Bīrūnī, « Alberuni's India », text, 1910, 272, http://www.columbia.edu/cu/lweb/digital/collections/cul/texts/ldpd_5949073_001/index.html.

⁵ Stillman Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography* (Courier Corporation, 2003).

⁶ La théorie quantique des champs est le cadre commun de la théorie de la lumière et des électrons sous la forme de champs (électrodynamique quantique), de la théorie des forces nucléaires faibles et de la théorie des quarks et des gluons. Le modèle standard de la physique des particules combine ces approches et décrit la structure interne des atomes à travers des champs quantiques.

Tests gravitationnels

Allan Franklin et Slobodan Perovic, dans *Experiment in Physics*,⁷ expliquent que les théories scientifiques en général, en physique en particulier, sont confirmées (temporairement) par des expériences vérifiant les affirmations et les prédictions des théories, jetant ainsi les bases de la connaissance scientifique. Francis Bacon a été le premier à soutenir le concept d'une expérience cruciale, qui peut décider la validité d'une hypothèse ou d'une théorie. Plus tard, Newton a soutenu que les théories scientifiques sont directement induites par les résultats expérimentaux et les observations, excluant les hypothèses non vérifiées. Hobbes a déclaré au contraire que la raison humaine a été antérieure aux techniques expérimentales, critiquant l'optimisme de Boyle quant au rôle de la méthode expérimentale.⁸ Au 20ème siècle, le positivisme logique sépare les déductions observationnelles des déductions théoriques. Thomas Kuhn et Paul Feyerabend ont critiqué ce point de vue, affirmant que toutes les expériences sont basées sur un cadre théorique et ne peuvent donc pas, de manière indépendante, confirmer une théorie. Ian Hacking a approuvé cette idée, mais a déclaré que les commentaires restent fiables grâce à des confirmations indépendantes.⁹ Dans le cas d'un système expérimental unique viable, Allan Franklin et Slobodan Perovic proposent des stratégies spécifiques pour valider l'observation, qui constituent, avec la stratégie de Hacking, une épistémologie de l'expérience:

1. Vérification et calibration expérimentale, à l'aide des phénomènes connus.
2. Reproduction d'artefacts précédemment connus.
3. Élimination des sources d'erreur plausibles et explications alternatives du résultat (« stratégie de Sherlock Holmes »).
4. Utilisation des résultats pour argumenter leur validité.
5. Utilisation d'une théorie des phénomènes indépendante bien corroborée pour expliquer les résultats.
6. Utilisation d'un appareil basé sur une théorie bien corroborée.
7. Utilisation d'arguments statistiques.¹⁰

Mais appliquer ces stratégies ne garantit pas l'exactitude des résultats. Pour cette raison, les physiciens utilisent plusieurs stratégies, en fonction de l'expérience.

⁷ Allan Franklin et Slobodan Perovic, « Experiment in Physics », in *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, éd. par Edward N. Zalta, Winter 2016 (Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2016), <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/physics-experiment/>.

⁸ Steven Shapin et Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (Princeton University Press, 1989).

⁹ Ian Hacking, « Do We See Through a Microscope? », *Pacific Philosophical Quarterly* 62, n° 4 (1981): 63: 305–322.

¹⁰ Franklin et Perovic, « Experiment in Physics ».

Peter Galison, dans *How Experiments End* (1987), affirme que les expériences se terminent de manière subjective, lorsque les experts estiment qu'elles ont atteint un résultat valable.¹¹ La plupart des expériences sont basées sur les traditions sur le terrain et sur l'expérience personnelle du chercheur (y compris ses hypothèses théoriques), à la fois dans la conception de l'expérience et dans l'acceptation d'une théorie qui « permet » la conduite des expériences. Les hypothèses théoriques des expérimentateurs sont acceptées.

Harry Collins a développé un argument appelé « régression d'expérimentateur »,¹² selon lequel il n'existe aucun critère formel possible à appliquer pour décider si un dispositif expérimental fonctionne correctement ou non. Ce qui compte vraiment, c'est la négociation au sein de la communauté scientifique, qui dépend de « facteurs tels que la carrière, les intérêts sociaux et cognitifs des scientifiques et l'utilité perçue pour les travaux futurs, mais ne sont pas déterminés par ce que nous pourrions appeler des critères épistémologiques ou un jugement rationalisé. »¹³

Pickering soutient également que les raisons d'accepter les résultats sont leur utilité ultérieure dans la pratique scientifique et leur accord avec les engagements communautaires existants.¹⁴ Il affirme qu'un système expérimental produit rarement des résultats expérimentaux valables s'il n'est pas ajusté en conséquence, et que la théorie de l'appareil ainsi que la théorie des phénomènes déterminent la production d'un résultat expérimental valide.¹⁵ Plus tard, il conclut que « les résultats dépendent de la façon dont le monde est » :¹⁶ « Ainsi, la manière dont le monde matériel s'infiltré et infecte nos représentations de manière non triviale et cohérente. Mon analyse montre donc un engagement intime et réactif entre la connaissance scientifique et le monde matériel, qui fait partie intégrante de la pratique scientifique. »¹⁷

Hacking prétend que, malgré les apparences, les constructivistes, tels que Collins, Pickering ou Latour, ne croient pas que les faits n'existent pas ou qu'il n'y a pas de réalité. Il

¹¹ Peter Galison, « How Experiments End », *Journal of Philosophy* 87, n° 2 (1990): 235.

¹² Harry M. Collins, *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Reprint edition (Chicago: University of Chicago Press, 1992), 79-111.

¹³ Franklin et Perovic, « Experiment in Physics ».

¹⁴ Andrew Pickering, « The Hunting of the Quark », *Isis* 72, n° 2 (1981): 216-36.

¹⁵ Pickering, « The Hunting of the Quark ».

¹⁶ Andrew Pickering, *The Mangle of Practice: Time, Agency, and Science*, 1 édition (Chicago: University of Chicago Press, 1995), 182.

¹⁷ Pickering, 183.

cite Latour et Woolgar que le résultat est une conséquence du travail scientifique plutôt que sa cause,^{18 19} dans un consensus relatif avec la communauté scientifique.

L'accumulation d'une grande quantité de données dans une expérience peut nécessiter une sélection, par la technique de réduction utilisée par les physiciens, des données qui seront utilisées. Cela peut constituer une préoccupation épistémologique importante en ce qui concerne la sélection des données jugées utiles, minimisant ainsi la probabilité d'obtenir des résultats inexplorés.²⁰ Dans de tels cas, les physiciens appliquent une analyse de robustesse pour tester les hypothèses, vérifier le matériel utilisé et établir des algorithmes de travail.

Dans le cas des solutions des équations d'Einstein de la relativité générale et de la modélisation des théories de la gravité quantique, en raison de la complexité de ces approches, des simulations d'expériences sur ordinateur sont tentées. Il existe actuellement un différend quant à la mesure dans laquelle ces simulations sont des expériences, des théories ou des méthodes hybrides de recherche scientifique.²¹

Entre 1965 et 1990, de nombreuses expériences ont été développées pour tester des théories gravitationnelles, notamment :²²

- Mesures de haute précision des effets de la radiation électromagnétique dans le champ gravitationnel, confirmant la relativité générale (RG) pour le champ gravitationnel faible.
- Détection de l'interaction gravitationnelle non linéaire des masses à un pulsar dans le champ gravitationnel d'une étoile à neutrons.
- Confirmation indirecte de la radiation gravitationnelle en observant deux étoiles à neutrons proches confirmant la RG.
- Les tentatives, échoués jusqu'à présent, pour constater la violation du principe d'équivalence ou l'existence d'une cinquième force.

Au cours de cette période, la plupart des expériences ont confirmé la relativité générale à l'aide des technologies nouvellement développées. Une base technologique a été créée pour

¹⁸ Bruno Latour, Steve Woolgar, et Jonas Salk, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*, 2nd Edition, 2nd edition (Princeton, N.J: Princeton University Press, 1986), 180.

¹⁹ Ian Hacking, *The Social Construction of What?*, Revised edition (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 2000), 80-81.

²⁰ Allan Franklin, *Shifting Standards: Experiments in Particle Physics in the Twentieth Century*, 1 edition (Pittsburgh, Pa: University of Pittsburgh Press, 2013), 224-25.

²¹ Eric Winsberg, *Science in the Age of Computer Simulation* (Chicago: University of Chicago Press, 2010), 136.

²² Vladimir B. Braginsky, « Experimental Gravitation (What Is Possible and What Is Interesting to Measure) », *Classical and Quantum Gravity* 11, n° 6A (juin 1994): A1–A7, <https://doi.org/10.1088/0264-9381/11/6A/001>.

l'astronomie des ondes gravitationnelles. Des antennes barogéniques cryogéniques et des antennes interférométriques laser ont été construites, associées à l'analyse théorique des expériences sur les masses d'essai, en résultant que la sensibilité des expériences dépend de l'isolation thermique, si l'appareil enregistre en continu les coordonnées la sensibilité de l'antenne est limitée, et la sensibilité peut être augmentée s'ils sont utilisés des procédures quantiques.²³ Les antennes peuvent aider à observer la radiation de fond gravitationnel et à tester la relativité générale dans le cas ultra-non linéaire.

En ce qui concerne la sensibilité des appareils de mesure gravitationnelle, Vladimir B Braginsky indique que le niveau actuel des connaissances nous permet d'espérer que la sensibilité des antennes puisse augmenter et qu'aucune limite de sensibilité n'a été fixée dans les expériences gravitationnelles, cela dépend des connaissances des scientifiques.²⁴

Actuellement, la gravité expérimentale est un domaine émergent, caractérisé par des efforts continus pour tester les prédictions des théories de la gravité.

La *limite classique* ou la *limite de correspondance* est la capacité d'une théorie physique à se rapprocher de la version classique lorsqu'elle est prise en compte par les valeurs spéciales de ses paramètres.²⁵ Le *principe de correspondance* formulé par Niels Bohr en 1920²⁶ stipule que le comportement des systèmes décrits par la mécanique quantique reproduit la physique classique dans les limites de grands nombres quantiques.²⁷ Ce principe a deux exigences fondamentales: la reproduction des crochets de Poisson et la spécification d'un ensemble complet d'observables classiques dont les opérateurs, agissant dans des états semi-classiques appropriés, reproduisent les mêmes variables classiques avec de petites corrections quantiques.

28

²³ Braginsky.

²⁴ Braginsky.

²⁵ David Bohm, *Quantum Theory*, Revised ed. edition (New York: Dover Publications, 1989).

²⁶ N. Bohr, « Über die Serienspektren der Elemente », *Zeitschrift für Physik* 2, n° 5 (1 octobre 1920): 423–478, <https://doi.org/10.1007/BF01329978>.

²⁷ Paul A. Tipler et Ralph Llewellyn, *Modern Physics*, Sixth edition (New York: W. H. Freeman, 2012), 160-61.

²⁸ Abhay Ashtekar, Luca Bombelli, et Alejandro Corichi, « Semiclassical States for Constrained Systems », *Physical Review D*, 2005, https://www.academia.edu/587754/Semiclassical_states_for_constrained_systems.

Bibliographie

- Ashtekar, Abhay, Luca Bombelli, et Alejandro Corichi. « Semiclassical States for Constrained Systems ». *Physical Review D*, 2005. https://www.academia.edu/587754/Semiclassical_states_for_constrained_systems.
- Bīrūnī, Muḥammad ibn Aḥmad. « Alberuni's India ». Text, 1910. http://www.columbia.edu/cu/lweb/digital/collections/cul/texts/ldpd_5949073_001/index.html.
- Bohm, David. *Quantum Theory*. Revised ed. edition. New York: Dover Publications, 1989.
- Bohr, N. « Über die Serienspektren der Elemente ». *Zeitschrift für Physik* 2, n° 5 (1 octobre 1920): 423-69. <https://doi.org/10.1007/BF01329978>.
- Braginsky, Vladimir B. « Experimental Gravitation (What Is Possible and What Is Interesting to Measure) ». *Classical and Quantum Gravity* 11, n° 6A (juin 1994): A1–A7. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/11/6A/001>.
- Collins, Harry M. *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*. Reprint edition. Chicago: University of Chicago Press, 1992.
- Drake, Stillman. *Galileo at Work: His Scientific Biography*. Courier Corporation, 2003.
- Franklin, Allan. *Shifting Standards: Experiments in Particle Physics in the Twentieth Century*. 1 edition. Pittsburgh, Pa: University of Pittsburgh Press, 2013.
- Franklin, Allan, et Slobodan Perovic. « Experiment in Physics ». In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, édité par Edward N. Zalta, Winter 2016. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2016. <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/physics-experiment/>.
- Galison, Peter. « How Experiments End ». *Journal of Philosophy* 87, n° 2 (1990): 103–106.
- Grant, Edward. *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages: Their Religious, Institutional and Intellectual Contexts*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 1996.
- Hacking, Ian. « Do We See Through a Microscope? » *Pacific Philosophical Quarterly* 62, n° 4 (1981): 305–322.
- . *The Social Construction of What?* Revised edition. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 2000.
- Latour, Bruno, Steve Woolgar, et Jonas Salk. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts, 2nd Edition*. 2nd edition. Princeton, N.J: Princeton University Press, 1986.
- Pickering, Andrew. « The Hunting of the Quark ». *Isis* 72, n° 2 (1981): 216–236.
- . *The Mangle of Practice: Time, Agency, and Science*. 1 edition. Chicago: University of Chicago Press, 1995.
- Pollio, Vitruvius. *De architectura*. Torino: Giulio Einaudi, 1997.
- Shapin, Steven, et Simon Schaffer. *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton University Press, 1989.
- Tipler, Paul A., et Ralph Llewellyn. *Modern Physics*. Sixth edition. New York: W. H. Freeman, 2012.
- Winsberg, Eric. *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: University of Chicago Press, 2010.