HAL open science

Existe-t-il des faits bruts en physique ? Plaidoyer pour le relativisme épistémologique

Emanuel Bertrand

▶ To cite this version:

Emanuel Bertrand. Existe-t-il des faits bruts en physique ? Plaidoyer pour le relativisme épistémologique. Alliage : Culture - Science - Technique, 2024, 83. hal-04417703

HAL Id: hal-04417703
https://hal.science/hal-04417703

Submitted on 25 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Existe-t-il des faits bruts en physique ?
Plaidoyer pour le relativisme épistémologique

Emanuel Bertrand
Centre Alexandre-Koyré (EHESS/CNRS/MNHN)
ESPCI Paris-PSL

Résumé
Existe-t-il des faits « bruts » dans les sciences de la nature, et notamment en physique ? Pour répondre à cette question, nous adoptons une approche empirique par l'histoire des sciences. À partir de deux épisodes de l'histoire de la physique, nous montrons que l'on ne peut parler d'un « fait scientifique » qu'après l'intervention d'une médiation humaine, et si un certain type de consensus est atteint dans la communauté concernée. Nous réaffirmons ainsi la thèse du relativisme épistémologique.

Mots-clés
Faits scientifiques ; histoire de la physique ; relativisme épistémologique.

Abstract
Are there any « hard » facts in the natural sciences, especially in physics? To answer this question, we adopt an empirical approach through the history of science. Based on two episodes in the history of physics, we show that one can only speak of a « scientific fact » after the intervention of a human mediation, and if a certain type of consensus has been reached in the community concerned. We thus reaffirm the thesis of epistemological relativism.

Keywords
Scientific facts, history of physics, epistemological relativism.

L'auteur
Emanuel Bertrand est maître de conférences de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles (ESPCI Paris-PSL) et chercheur en histoire des sciences au Centre Alexandre-Koyré (EHESS/CNRS/MNHN). Il a publié un livre de physique, *Transitions de mouillage : rôle des interactions entre interfaces* (Éditions Publibook Université, 2003), et codirigé (avec Wolf Feuerhahn et Valérie Tesnière) l'ouvrage collectif *Éditer l'histoire des sciences (France, XXe siècle). Entre sciences et sciences humaines* (Presses de l'ENSSIB, 2022). Son livre *Extension du domaine de la*

thermodynamique. Anatomie d'une controverse est paru en 2023 aux éditions Classiques Garnier.

emanuel.bertrand@cnrs.fr

Afin de réexaminer à nouveau frais, en fin d'article, la thèse du relativisme épistémologique, nous nous efforcerons d'abord de répondre aux questions suivantes[1]. Qu'est-ce qu'« établir un fait » en sciences de la nature, et particulièrement en physique ? Existe-t-il des faits « bruts » en physique ? Ou bien un « fait scientifique » ne peut-il être établi comme tel qu'après l'intervention d'une médiation humaine – sociale, interprétative ou instrumentale ?

On peut tenter de répondre à cette question par le recours à la philosophie, en mobilisant des réflexions sur la théorie de la connaissance, par exemple celles du philosophe allemand, naturalisé suédois, Ernst Cassirer, né dans l'Empire allemand en 1874 (et mort à New York en 1945), et représentant d'une variété de néokantisme désignée sous l'appellation d'« école de Marbourg. » Dans son célèbre ouvrage de 1910, *Substance et fonction*, Cassirer s'attache, entre autres, à analyser l'articulation entre expérimentation et théorie dans les sciences physiques. Dans ce cadre, il écrit : « Tout "fait" suppose, pour être établi, une loi en forme d'hypothèse et ne reçoit sa détermination qu'en référence à une telle loi[2]. » Le philosophe exprime ainsi l'idée qu'il n'existe pas de fait « brut » en physique, et qu'établir un fait implique de mobiliser une théorie préexistante, seule à même de nous permettre d'interpréter un évènement expérimental comme « fait ».

On pourrait multiplier ainsi les réflexions philosophiques pour explorer en profondeur cette question de l'établissement d'un fait en physique, mais j'ai choisi de privilégier une approche empirique en m'appuyant sur l'étude de deux cas en histoire des sciences. Le premier concerne l'histoire de la mise en évidence de la propagation des ondes électromagnétiques, et de leur détection, par le physicien Heinrich Hertz (1857-1894) autour de 1888, telle que relatée par deux historiens des sciences français, Michel Atten et Dominique Pestre, dans leur ouvrage de 2002 intitulé *Heinrich Hertz. L'administration de la preuve*[3].

---

[1] Je tiens à remercier Dominique Pestre pour nos nombreuses et instructives discussions à propos du travail qu'il a réalisé (et publié en 2002) avec Michel Atten sur Heinrich Hertz.

[2] CASSIRER, Ernst. *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du concept*. Paris : Les Éditions de Minuit, [1910] 1977, p. 269.

[3] ATTEN, Michel, et Dominique PESTRE. *Heinrich Hertz. L'administration de la preuve*. Paris : Presses Universitaires de France, 2002.

Le second cas a été étudié par le sociologue des sciences britannique Harry Collins, dans un article de 1975 pour la revue *Sociology*[4]. Il s'agit là de l'histoire de la tentative de détection d'ondes gravitationnelles par le physicien Joseph Weber (1919-2000) dans les années 1960 et 1970. En plus de leur évidente différence d'époque, ces deux histoires offrent un contraste saisissant. Dans le premier cas, le phénomène étudié est entièrement fabriqué par le physicien, alors que, dans le second cas, il s'agit de détecter un phénomène *a priori* présent dans l'univers indépendamment de toute activité humaine.

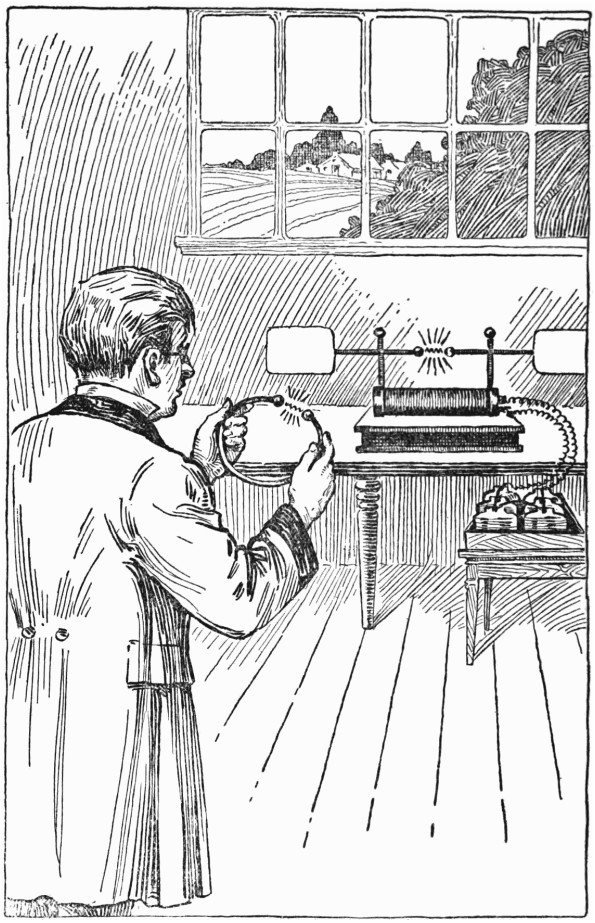
Heinrich Hertz et les ondes électromagnétiques

L'histoire de la détection des ondes électromagnétiques commence avec les travaux effectués par le physicien allemand Heinrich Hertz au cours des années 1887 et 1888, à l'Université de Karlsruhe. En mai 1888 paraît un article dans lequel Hertz explique qu'il a successivement :

– fabriqué un dispositif capable de générer des ondes électromagnétiques de fréquence *f*, calculable et ajustable, en provoquant des étincelles, c'est-à-dire des arcs électriques, entre deux sphères métalliques faisant office de condensateur ;
– entrepris de mettre en évidence la propagation de ces ondes et de déterminer leur vitesse de propagation ;
– fabriqué un détecteur d'ondes électromagnétiques à partir d'une boucle de fil électrique dont les extrémités sont séparées par un petit intervalle de distance réglable – lorsqu'une onde passe dans cet intervalle, un courant induit provoque une étincelle, qui signale qu'une onde a été détectée ;
– mis au point un dispositif d'interférences en utilisant une plaque de Zinc pour réfléchir les ondes électromagnétiques ;
– fabriqué des ondes stationnaires possédant, comme il se doit, des « nœuds » et des « ventres » ;

[4] COLLINS, Harry. « The Seven Sexes: A Study in the Sociology of a Phenomenon, or the Replication of Experiments in Physics ». *Sociology* 9 : 205-224, 1975 ; version française : « Les sept sexes : étude sociologique de la détection des ondes gravitationnelles ». In *La science telle qu'elle se fait. Anthologie de la sociologie des sciences de langue anglaise*, édité par Michel CALLON et Bruno LATOUR, 262-296. Paris : La Découverte, [1982] 1990.

– déterminé expérimentalement la longueur d'onde de ces ondes stationnaires ;
– déterminé ainsi expérimentalement, connaissant la fréquence f des ondes émises, leur vitesse de propagation, et obtenu un résultat d'environ 300 000 km/s, c'est-à-dire la vitesse de la lumière.



L'expérience de Hertz. Auteur inconnu, in R. F. Yates, L. G. Pacent, The Complete Radio Book, *The Century Co., New York, 1922.*

Hertz affirme ainsi avoir démontré la validité de la théorie de James Clerk Maxwell (1831-1879) de 1864, à une époque où les deux grandes théories concurrentes pour expliquer les phénomènes électromagnétiques n'avaient pas encore été départagées expérimentalement :

i. la théorie de Maxwell interprétant les phénomènes électromagnétiques comme intrinsèquement liés à des ondes électromagnétiques se propageant comme les ondes optiques, et à la même vitesse (la vitesse de la lumière) ;
ii. la théorie (défendue par plusieurs savants d'Europe continentale) interprétant l'électromagnétisme comme une interaction instantanée à distance, au même titre que la gravitation.

On pourrait penser qu'on a là un cas classique de confirmation expérimentale d'une théorie non encore validée, à l'aide de faits établis par une série d'expériences. Mais l'affaire va rapidement se révéler plus complexe. Tout d'abord, remarquons au passage que les physiciens dits « maxwelliens » n'avaient aucun doute sur la validité de la théorie de Maxwell, et n'avaient pas attendu un éventuel « fait établi » pour continuer leurs travaux théoriques sur les ondes électromagnétiques. Plus généralement, l'histoire des sciences nous montre que les scientifiques ont rarement besoin de preuve définitive pour croire en une théorie. D'ailleurs, en physique, avant de faire des expériences, il est très souvent indispensable d'adhérer à une théorie. Un choix récurrent, et essentiel, du scientifique consiste à déterminer à quoi et à qui il accorde sa confiance : à un autre scientifique, à une théorie, à un dispositif expérimental, à des résultats obtenus par un autre scientifique, etc.

Néanmoins, de mai 1888 au printemps 1889, ce sont principalement les Britanniques – tous de fervents maxwelliens – qui s'emparent des publications de Hertz, car ce dernier leur offre des moyens techniques pour fabriquer et manipuler des ondes électromagnétiques, et ainsi raffiner leurs théories. On voit bien, dans le cas présent, que la physique ne consiste pas tant à observer la nature qu'à fabriquer des phénomènes artificiels, précis et contrôlés (même si l'on peut aussi les rencontrer dans la nature, sous une forme plus complexe), puis à les étudier. Très souvent, en effet, la physique fabrique la nature qu'elle observe. On peut presque dire que c'est une science « industrielle », qui fabrique des dispositifs, puis étudie ses propres fabrications.

Le premier maxwellien à utiliser les travaux de Hertz pour fabriquer des ondes électromagnétiques est l'Écossais Oliver Lodge (1851-1940). Il échange de nombreux courriers avec Hertz, mais fabrique

finalement ses propres dispositifs. Il les présente à sa communauté scientifique, mais il ne cherche pas à reproduire la détermination de la vitesse de propagation des ondes. Le premier physicien qui cherche à répliquer cette mesure, en mai 1889, est Joseph John Thomson (1856-1940), successeur de Maxwell à la chaire de physique de Cambridge. Il s'agit du Thomson qui obtiendra en 1906 le *prix Nobel* pour ses expériences mettant en évidence l'existence des électrons. Finalement, Thomson ne parvient pas à reproduire l'expérience de Hertz, et en conclut que ce dernier a un meilleur savoir-faire que lui, et qu'il est donc plus sage de lui faire confiance[5].

Mais les choses vont commencer à sérieusement se gâter quelques mois plus tard, lorsque deux physiciens de Genève, Lucien de la Rive (1834-1924) et Édouard Sarasin (1843-1917), entreprennent de refaire l'expérience de Hertz. Ils contactent Hertz, qui leur fournit gracieusement tous les plans de son expérience. Les deux physiciens genevois sont très méticuleux et décident de faire varier systématiquement deux paramètres de l'expérience de Hertz :

i. la fréquence f des ondes émises par le générateur d'ondes ;
ii. la fréquence propre f_D de la boucle de détection.

Il résulte de cela un très grand nombre d'expériences, dont les deux principaux résultats sont les suivants :

i. la longueur d'onde mesurée des ondes stationnaires ne dépend pas de la fréquence f ;
ii. la longueur d'onde mesurée des ondes stationnaires dépend de la fréquence f_D.

Pensant avoir fait des erreurs de manipulations, les deux Genevois refont toutes leurs expériences et obtiennent à nouveau les mêmes résultats, qu'ils publient entre septembre 1889 et février 1890. Ils affirment ainsi que le paramètre-clé de l'expérience de Hertz est la fréquence propre du détecteur d'ondes. Le physicien français Alfred Cornu (1841-1902), académicien, publie alors un commentaire de ces travaux dans lequel il affirme que :

– soit Hertz a raison, et la longueur d'onde mesurée ne doit dépendre que de la fréquence f des ondes émises ;

[5] Il y parvient dans le cas de la propagation des ondes dans des fils électriques, mais pas pour leur propagation dans l'air ; cf. ATTEN et PESTRE, *op. cit.* p. 75-79.

– soit toutes les ondes émises par le générateur n'ont pas la même fréquence, et alors plus rien n'est clair dans l'expérience de Hertz !

Cornu, qui n'est pas maxwellien, est ravi de conclure que l'expérience de Hertz est incompréhensible et ne démontre rien en ce qui concerne l'existence des ondes électromagnétiques. À partir de ce moment-là, tout le monde s'en mêle : tous les grands noms de la physique de l'époque se tournent vers ce qui devient une véritable controverse. Contacté par ses pairs, Hertz répond qu'il avait noté ce phénomène, mentionné en effet dans ses cahiers de laboratoire dès 1887. Il avait alors décidé de simplifier le problème en réglant toujours le générateur d'ondes et le détecteur de telle sorte que f_D soit égale à f. D'ailleurs, il ajoute que son objectif était de mettre en évidence la propagation des ondes électromagnétiques, et pas de comprendre tous les détails de son dispositif expérimental.

Mais d'autres physiciens veulent comprendre l'ensemble du phénomène, et plusieurs hypothèses sont développées. L'hypothèse des Genevois est que le générateur d'ondes de Hertz n'émet pas des ondes avec une fréquence unique, mais avec toute une plage de fréquences. Le détecteur ne détecte alors que les ondes qui ont la même fréquence que lui. La communauté des physiciens n'est pas convaincue par cette hypothèse.

Plusieurs théoriciens, dont le mathématicien et physicien français Henri Poincaré (1854-1912), titulaire de la Chaire de physique mathématique de la Sorbonne, se penchent sur la question. L'hypothèse de Poincaré repose sur le phénomène d'amortissement des ondes électromagnétiques. Selon ses calculs, dans l'expérience de Hertz, les ondes s'amortissent très rapidement : après seulement deux périodes, leur amplitude est déjà divisée par plus de deux. Autrement dit, pour lui, le générateur de Hertz émet bien à une seule fréquence, mais les ondes émises s'amortissent tellement rapidement qu'après réflexion sur la plaque de Zinc, elles ont déjà quasiment disparu. Or, toujours selon Poincaré, le détecteur de Hertz, étant le siège d'arcs électriques, émet lui-aussi des ondes, qui s'amortissent beaucoup plus lentement. Ces ondes émises par le détecteur se réfléchissent sur la plaque de Zinc, et ce sont elles qui créent des ondes stationnaires. La conclusion de Poincaré, en 1890, est la suivante : le principe de l'expérience de Hertz est valide, mais le physicien allemand mesure simplement une autre onde

stationnaire que celle qu'il croyait mesurer. La communauté des physiciens n'est guère plus convaincue que par les Genevois.

Cette même année 1890, le cours de la Sorbonne de Poincaré porte sur la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell et, lors d'une séance de ce cours, il présente l'expérience de Hertz et fait au tableau le calcul de la fréquence des ondes émises par le générateur. Mais il ne retrouve pas le résultat de Hertz. Après vérification, Poincaré annonce que Hertz a oublié un facteur multiplicatif √2 dans son calcul. Poincaré publie ce résultat en août 1890.

Le problème est qu'avec le facteur multiplicatif correct, la détermination expérimentale de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques par Hertz devient 300 000 multiplié par √2, soit environ 420 000 km/s, ce qui n'a plus aucun sens et ne correspond plus à la théorie de Maxwell. On note d'ailleurs que Hertz a trouvé exactement le résultat expérimental attendu, alors qu'il a fait une erreur de calcul de √2. Les expériences, plus ou moins proches de celles de Hertz, parfois même très éloignées de celle-ci (comme celle de René Blondlot en 1893), se multiplient alors dans cette communauté scientifique, et convergent toutes vers une vitesse de propagation de l'ordre de 300 000 km/s.

En 1892, Hertz est invité à republier tous ses articles sur ce sujet dans un livre, en y ajoutant une préface. Dans cette préface, Hertz rend hommage à Poincaré pour lui avoir signalé son erreur de calcul, et ajoute un certain nombre d'arguments destinés à prouver son honnêteté. Il énumère notamment les sources métalliques de perturbation des ondes, susceptibles d'expliquer son erreur de détermination expérimentale de leur vitesse de propagation : le gymnase dans lequel il a effectué ses expériences possède une structure métallique, et il était chauffé par un gros poêle en fonte. Surtout, il insiste sur le fait que la mesure de la vitesse de propagation n'est pas centrale dans ses travaux, mais qu'il a avant tout mis en évidence le phénomène de propagation des ondes électromagnétiques, conformément à la théorie de Maxwell, et qu'il a multiplié les dispositifs expérimentaux analogues à ceux de l'optique, prouvant ainsi que les ondes électromagnétiques et les ondes optiques sont bien de même nature : un miroir, des interférences, des lentilles, un prisme, etc.

En 1893, Thomson publie une nouvelle édition du traité de Maxwell, dans laquelle il inclut un chapitre sur l'expérience de Hertz. Mais il

donne de celle-ci une version épurée, sans entrer dans les détails techniques : il ne mentionne ni l'erreur du facteur √2 ni le problème de l'influence de la fréquence propre du détecteur. De fait, ces aspects appartiennent à l'histoire, et importent peu pour les générations suivantes de physiciens. Thomson retient alors une version quasi-mythique de cet épisode, en écrivant que Hertz a découvert les ondes électromagnétiques. Il semble pourtant que, pour être fidèle au déroulé des évènements, il aurait plutôt fallu écrire que :

– Hertz a fabriqué des ondes électromagnétiques ;
– il leur a donné une forme maîtrisable ;
– il a mis en évidence des phénomènes d'interférences, puis des ondes stationnaires ;
– il a finalement convaincu sa communauté scientifique en multipliant les expériences similaires à celles de l'optique.

De fait, le problème de l'influence de la fréquence propre du détecteur n'a jamais été résolu de façon convaincante pour toute la communauté, et ne le sera certainement jamais. Mais, à dire vrai, ce n'est pas bien grave, et les scientifiques du domaine ont continué à avancer. Les scientifiques savent bien qu'ils doivent souvent se frayer un chemin au milieu de contradictions et de problèmes divers. Ils savent avancer dans le contradictoire. Souvent, la rationalisation intervient *a posteriori* sous forme d'un récit simplificateur, du type « Hertz a découvert les ondes électromagnétiques », ou « la théorie de Maxwell a été validée. » Le reste des détails n'est alors plus très important.

Dans le cas présent, pourquoi est-ce que, par exemple en 1897, plus personne ne pose le problème de l'influence du détecteur sur les résultats de l'expérience de Hertz ? Tout simplement parce que les physiciens du domaine se sont déplacés vers d'autres questions, vers d'autres technologies. En 1897, plus personne n'utilise la technologie des étincelles de Hertz pour générer, ni pour détecter, une onde électromagnétique. En 1897, ce qui intéresse cette communauté est de savoir comment utiliser les ondes électromagnétiques pour envoyer des messages, c'est-à-dire faire de la radio. Et c'est d'ailleurs en cette année 1897 que le physicien italien Guglielmo Marconi (1874-1937) invente la radio. Dans ce contexte, tout comprendre d'une expérience de 1888 n'intéresse plus aucun physicien.

Cet épisode de l'histoire des sciences physiques témoigne du fait qu'une expérience ne parle pas d'elle-même, et dépend presque toujours d'un cadre théorique d'interprétation, seul à même de lui donner du sens. Ce constat n'est d'ailleurs pas nouveau : Pierre Duhem l'avait déjà formulé en 1906 dans son ouvrage *La théorie physique*[6]. De plus, un fait expérimental est rarement établi de façon isolée. Pour établir un fait, il faut généralement un ensemble de preuves convergentes. Ce faisceau de preuves, qui renforce une conviction théorique éventuellement déjà présente, est alors susceptible de convaincre un certain nombre de scientifiques de l'existence d'un fait. Ces scientifiques sont ainsi convaincus par ce fait, qui se révèlera – ou pas – robuste dans le temps.

Cependant, au cours du processus d'établissement d'un fait, ou d'un résultat scientifique, les scientifiques opèrent presque toujours des simplifications ou des approximations. Une expérience ne donne généralement pas un résultat simple, ne délivre quasiment jamais un fait « brut. » Tout le problème, pour un scientifique, est de savoir comment on donne du sens à un résultat expérimental, et finalement comment on convainc sa communauté de considérer à l'avenir ce résultat comme un « fait établi ». Mais une expérience est en général partielle et simplificatrice, et un expérimentateur doit souvent contourner des problèmes pour établir un fait et le faire reconnaître comme tel par ses pairs.

Joseph Weber et les ondes gravitationnelles

Notre second épisode d'histoire des sciences est issu de recherches publiées, notamment dans un article de 1975, par le sociologue des sciences britannique Harry Collins (né en 1943), et concerne la controverse autour de la tentative de détection des ondes gravitationnelles par le physicien états-unien Joseph Weber, dans les années 1960 et 1970. Notons tout de suite une différence fondamentale avec le cas des travaux de Hertz. En astronomie, ou en astrophysique, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des autres branches de la physique, ce n'est pas le physicien qui fabrique (certes en s'inspirant de ses observations de la nature) les phénomènes qu'il étudie. Ici, les ondes gravitationnelles – si elles

[6] DUHEM, Pierre. *La théorie physique. Son objet, sa structure*. Paris : Vrin, [1906] 1981, p. 217-248.

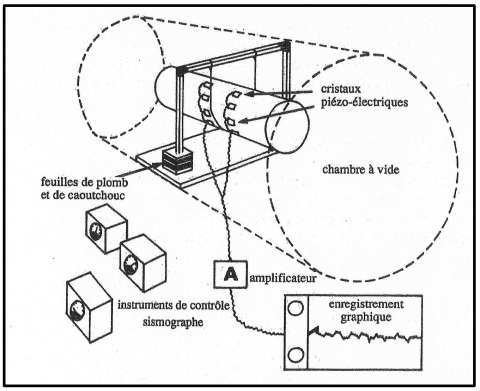
existent bien – constituent un phénomène indépendant des activités humaines. Nous ne nous attarderons pas sur la physique à l'œuvre dans ce cas précis, et nous contenterons de rappeler que l'existence des ondes gravitationnelles a été prévue par Albert Einstein (1879-1955) en 1916, dans le cadre de la relativité générale.

Le problème de la détection de ces ondes gravitationnelles est qu'il s'agit de détecter un déplacement relatif extrêmement faible de deux ou plusieurs objets au passage d'une onde, ce qui requiert une précision extrême. En effet, le déplacement relatif à mesurer est de l'ordre de 10^{-21}. Pour donner une idée plus concrète de cet ordre de grandeur, cela équivaut à détecter une variation de la distance Terre-Soleil de l'ordre de la taille d'un atome.

Pour revenir au sociologue Harry Collins, son propos général est que nous vivons au milieu de connaissances scientifiques établies, qui nous semblent donc correspondre à des vérités absolues. Il utilise alors une métaphore pour illustrer l'approche des historiens et philosophes des sciences d'avant les années 1970 : ils étudient des bateaux à l'intérieur de bouteilles dans un monde où les bateaux sont déjà construits. Ils ne s'intéressent donc pas à la façon dont ces bateaux ont été construits, mais aux bateaux en tant qu'objets réels. Pour Collins, cela revient à juger les connaissances du passé à partir de ce que nous considérons comme la vérité dans le présent. Pour lui, le moyen le plus efficace de s'affranchir de ce problème est d'observer les sciences en train de se faire, c'est à dire d'étudier les controverses scientifiques en temps réel, avant que le résultat de la résolution de la controverse ne devienne un environnement familier. Il poursuit alors sa métaphore : les bateaux à l'intérieur des bouteilles sont fabriqués par des humains, et le procédé pour les insérer dans les bouteilles est aussi une activité humaine, que l'on peut suivre en temps réel. Pour son article de 1975, Collins développe son enquête de sociologue dans treize laboratoires, situés dans plusieurs pays : neuf laboratoires universitaires de physique ; un laboratoire universitaire de géophysique ; et trois laboratoires industriels.

Le physicien Joseph Weber est le premier à s'intéresser à ce défi expérimental de la détection des ondes gravitationnelles, dès 1957-1958. Il est même le seul à s'y intéresser jusqu'en 1969, date où il publie ses premiers résultats positifs. Le dispositif expérimental de Weber est le suivant : un cylindre d'aluminium de 1,5 m de long (et

0,75 m de large), suspendu dans le vide, refroidi à 4 degrés Kelvin, isolé le mieux possible de toutes les perturbations imaginables, et relié à des détecteurs piézoélectriques de mouvement extrêmement précis. Le principe est de détecter les minuscules mouvements résiduels dans le cylindre, une fois toutes les composantes connues soustraites : perturbations sismiques, bruit lié aux circuits électroniques, agitation thermique des atomes d'aluminium, etc.



L'expérience de Weber

En 1969, Weber publie un article dans lequel il affirme avoir détecté des ondes gravitationnelles, mais dans des proportions tellement importantes qu'elles sont difficilement compatibles avec les théories gravitationnelles de l'époque. Dès la parution de cet article, de nombreux groupes de chercheurs se mettent au travail pour essayer de confirmer ou d'infirmer les observations de Weber. Au moment où le sociologue Collins publie son article, en 1975, la controverse est encore ouverte : il n'y a aucun consensus, dans la communauté scientifique concernée, quant au statut des expériences de Weber.

Différents groupes d'expérimentateurs se sentent en concurrence, car ils cherchent tous à être les premiers à être les seconds, ou à démontrer que les observations de Weber sont inexactes. La

première observation de Collins, *a priori* inattendue, est qu'aucune des douze équipes concernées ne cherche à reproduire le même appareil de détection que Weber. Chaque équipe élabore son propre dispositif expérimental de détection. Selon certains scientifiques, interrogés à ce sujet par le sociologue, la raison en est que reproduire exactement le modèle du dispositif de Weber ne leur apporterait rien en termes de prestige : soit ils retrouvent le même résultat que Weber, et c'est lui qui aura le prix Nobel, soit ils infirment son résultat et le dispositif mis au point ne servira à rien. Au contraire, poursuivent ces scientifiques, avec un autre dispositif, ils peuvent devenir les *leaders* du domaine.

Collins propose une autre explication. Selon lui, on ne peut savoir qu'une connaissance expérimentale a été transmise que quand un autre scientifique reproduit des résultats similaires à ceux obtenus auparavant, et que ces résultats sont acceptables par la communauté scientifique concernée. Or, dans le cas de la détection des ondes gravitationnelles, la communauté n'est pas d'accord sur ce qu'est un résultat acceptable, et la notion même de « bon détecteur d'ondes gravitationnelles » est toujours l'objet d'une controverse. Il n'y a donc aucune raison pour les scientifiques de reproduire un dispositif dont ils ne savent même pas s'il est vraiment un détecteur efficace d'ondes gravitationnelles. Plus fondamentalement encore, les scientifiques ne sont même pas d'accord sur les critères pour dire qu'un détecteur est un bon détecteur.

Chaque équipe essaie alors de fabriquer un meilleur détecteur que les autres, et Weber lui-même cherche à améliorer son propre dispositif. Plusieurs de ses détecteurs, séparés de plusieurs centaines de kilomètres, mesurent les mêmes perturbations au même moment. Certains scientifiques sont convaincus par cette coïncidence des signaux. D'autres pensent que cela peut être attribué à d'autres artefacts. D'autres améliorations interviennent ensuite dans l'expérience de Weber, mais la controverse demeure.

Au cours de ses entretiens, Collins constate une absence d'accord sur les critères scientifiques de validité d'une expérience de détection des ondes gravitationnelles. Les interactions entre ces scientifiques s'apparentent ainsi à un véritable processus de négociation sur ce que signifie une expérience valable dans ce domaine. Selon Collins, on assiste en fait au fondement culturel de

ce qui sera peut-être plus tard un domaine de recherche intitulé « observation des ondes gravitationnelles. »

Dans cette histoire, définir ce qu'est une expérience adéquate – ou acceptable – revient à définir la nature même du phénomène de détection des ondes gravitationnelles. Au moment où paraît l'article de Collins, il n'y a, au sein de la communauté scientifique concernée, aucun consensus sur ce qu'est un résultat attendu, et aucune limite à ce que peut être un résultat non attendu. En quelque sorte, on peut dire que l'environnement culturel de cette communauté n'est pas encore établi. La conclusion que Collins tire de son étude est qu'en 1975, le domaine de la détection des ondes gravitationnelles en est encore au stade de la controverse et de la négociation autour de la définition même du phénomène et de l'expérience adéquate pour le détecter. Selon lui, c'est l'organisation sociale ultérieure des scientifiques qui déterminera l'issue de la controverse et le statut scientifique – ou pas – de la détection des ondes gravitationnelles.

Il se trouve que le dénouement de cette controverse sur la détection des ondes gravitationnelles a eu lieu récemment, avec la publication, en 2016, cent après la prédiction théorique d'Einstein, de la première observation directe consensuelle d'ondes gravitationnelles, survenue le 14 septembre 2015 [7]. Cette observation, à partir d'une technique d'interférométrie laser, fort différente du dispositif de Weber, a valu le prix Nobel de physique 2017 à Rainer Weiss, Barry Barish et Kip Thorne. On peut donc dire que Collins a été bien inspiré en choisissant d'étudier cette controverse, puisqu'il a fallu attendre 41 ans après son article de 1975 pour qu'un consensus soit établi à propos de la détection des ondes gravitationnelles.

Mais la controverse consistant à savoir si Weber avait bien détecté des ondes gravitationnelles en 1969 ne s'est jamais vraiment terminée. Depuis, le dispositif mis au point par Weber a acquis une véritable crédibilité scientifique, et est désormais dénommé « barre de Weber. » D'ailleurs, des barres de Weber plus précises ont été construites, mais aucune n'a permis de détecter, de façon consensuelle, des ondes gravitationnelles.

Plaidoyer pour le relativisme épistémologique

[7] ABBOTT, Benjamin *et al.* « Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger ». *Physical Review Letters* 116: 061102, 2016.

Que peut-on conclure de ces deux études de cas en histoire des sciences physiques à propos de la question initiale : « existe-t-il des faits bruts en physique ? » Tout d'abord, nous avons pu constater que les faits scientifiques ne sont pas bruts. Ils ne s'imposent pas spontanément. Ils ont généralement une dimension sociale, ou culturelle, et leur établissement comme « faits » résulte de négociations. Ensuite, en généralisant ces deux cas particuliers, on peut affirmer que le dissensus est la règle générale de fonctionnement des sciences en train de se faire[8]. Le consensus à propos d'un fait scientifique n'intervient, la plupart du temps, qu'à la suite de plusieurs années, voire décennies, de négociations. Parfois même, le consensus n'émerge jamais, et la question est finalement abandonnée. Souvent, la controverse est close par la mise en œuvre concrète d'une technologie qui utilise le résultat scientifique encore controversé. Ainsi, nous l'avons vu, la radio est inventée par Marconi, en 1897, alors qu'on n'a toujours pas vraiment résolu les multiples controverses autour de l'expérience de Hertz de 1888.

À bien y réfléchir, tout cela n'est pas fondamentalement étonnant. À supposer même que le monde soit régulier et stable, les humains ne peuvent certainement pas l'appréhender dans sa vérité nue. Pour reprendre la distinction d'Emmanuel Kant (1724-1804) entre *noumènes* et *phénomènes*, ou entre *réel en soi* et *réel pour nous*, ce n'est pas le monde *en soi* qui nous est accessible[9]. Ce que nous appelons la réalité ne nous est connue que par la médiation d'acteurs humains, de leurs sens, de leurs instruments scientifiques, et de leurs constructions théoriques ou expérimentales. D'où la possibilité qu'émergent plusieurs propositions scientifiques également légitimes et intéressantes en parallèle. Il est essentiel de garder à l'esprit qu'un « fait scientifique » n'est pas un « fait brut », mais une production humaine. De même, une connaissance scientifique n'est jamais absolue, ni éternelle, mais toujours relative à la société dans laquelle elle est énoncée, même si un noyau dur de cette connaissance peut parfois être transposé d'un contexte à un autre.

---

[8] Le grand public français a pu observer en direct, sur les plateaux de télévision, ce fonctionnement dissensuel des sciences en train de se faire, à l'occasion de la pandémie de Covid-19, de 2020 à 2022.

[9] KANT, Emmanuel. *Critique de la raison pure*. Paris : Flammarion, [1781] 2006, p. 302-304 notamment.

Ces principes constituent le cœur de la thèse que l'on nomme « relativisme épistémologique », ou parfois « relativisme méthodologique ». Entre 1996 et 1998, cette thèse a donné lieu à des échanges véhéments, parfois même verbalement violents, à l'occasion de ce que l'on a appelé l'« affaire Sokal », initiée par un canular publié par le physicien états-unien Alan Sokal dans la revue interdisciplinaire de sciences sociales *Social Text*[10]. Malgré les critiques virulentes émises par un certain nombre de physiciens impliqués dans cette controverse, le relativisme épistémologique n'est aucunement un relativisme absolu. L'idée du relativisme épistémologique n'est évidemment pas de dire que « tout se vaut[11] », ni que n'importe quel énoncé scientifique peut être accepté comme légitime, et encore moins que l'interaction avec le monde extérieur n'a aucune importance dans l'établissement d'une connaissance scientifique. Une telle position philosophique serait quelque peu ridicule, et pour tout dire indéfendable.

L'idée du relativisme épistémologique est simplement de dire que les connaissances scientifiques sont relatives – à une société, à une époque – par opposition à d'hypothétiques connaissances absolues. Cette idée peut même être considérée comme extrêmement banale pour tout historien des sciences, bien conscient que les connaissances scientifiques d'hier ne sont généralement pas celles d'aujourd'hui. Cela dit, il est également manifeste qu'il existe un noyau de connaissances qui peut passer d'une société à une autre et d'une époque à une autre, quitte à être formulé différemment selon

[10] Cette « affaire Sokal », parfois appelée aussi « guerre des sciences », a notamment donné lieu à la publication de l'ouvrage *Impostures intellectuelles* (Paris : Odile Jacob, 1997), dans lequel les auteurs physiciens Alan Sokal (né en 1955) et Jean Bricmont (né en 1952) pourfendent le relativisme, et plus généralement ce qu'ils appellent le « postmodernisme ». En réponse, le professeur en sciences de l'information et de la communication Baudouin Jurdant (né en 1942) a dirigé, en 1998, un ouvrage collectif intitulé *Impostures scientifiques. Les malentendus de l'affaire Sokal*, coédité par les éditions La Découverte (Paris) et la revue Alliage (Nice).

[11] Cette expression vient de l'anglais « *anything goes* », et est due au philosophe des sciences états-unien d'origine autrichienne Paul Feyerabend (1924-1994), dans son ouvrage en anglais de 1975, traduit sous le titre *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance* (Paris : Le Seuil, 1979). Mais Feyerabend écrivait cela à propos des méthodes permettant d'aboutir à des connaissances, et défendait à cette occasion le pluralisme méthodologique. Une traduction moins littérale et plus fidèle à sa pensée serait donc, selon nous : « toute méthode est bonne » – sous-entendu – pour produire une connaissance.

les contextes, et avec des limitations appropriées. Surtout, aucune connaissance scientifique ne correspond à la seule vérité possible sur le monde (en soi), dans la mesure où l'essence du monde (en soi) est inatteignable pour des humains, si l'on adhère à la position kantienne sur cette question. De ce fait, les constructions scientifiques sont toujours partielles et situées.

Insistons néanmoins à nouveau sur le point crucial : cela n'implique pas que, dans les sciences de la nature, tout peut se dire. Les constructions scientifiques ne sont en aucun cas arbitraires. À chaque époque, les scientifiques disposent de multiples critères pour juger de ces constructions. Citons, par exemple, la cohérence avec un cadre théorique établi et consensuel, la reproductibilité expérimentale d'un lien de cause à effet, ou d'une corrélation entre deux variables observables, ou encore l'efficacité instrumentale pour agir sur le monde extérieur. Ces critères sont constamment – explicitement ou implicitement – discutés, ou affinés, au sein d'une communauté scientifique donnée, en fonction des lieux et des époques, mais il existe toujours de tels critères, qui permettent de faire le tri parmi les connaissances scientifiques putatives. Ces critères de validité permettent donc de rejeter certaines propositions scientifiques comme fausses et d'en valider d'autres comme vraies.

Dans un contexte socio-historique donné, il n'y a donc évidemment aucune objection à considérer certains énoncés scientifiques comme vrais, qu'il s'agisse de faits expérimentaux ou de théories. Il est important d'y insister, encore aujourd'hui : l'histoire des sciences ne nous enjoint aucunement à rejeter le concept de vérité scientifique, mais uniquement à prendre conscience du fait que la vérité scientifique est un concept non-trivial, difficile à circonscrire, qu'il ne se rapporte vraisemblablement qu'à des parties du *réel pour nous*, et qu'il ne s'agit donc pas de la vérité absolue, notion qui est certainement destinée à demeurer au-delà de notre appréhension humaine.

Références

ABBOTT, Benjamin *et al.* « Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger ». *Physical Review Letters* 116: 061102, 2016.

ATTEN, Michel, et Dominique PESTRE. *Heinrich Hertz. L'administration de la preuve*. Paris : Presses Universitaires de France, 2002.

CASSIRER, Ernst. *Substance et fonction. Éléments pour une théorie du concept*. Paris : Les Éditions de Minuit, [1910] 1977.

COLLINS, Harry. « The Seven Sexes: A Study in the Sociology of a Phenomenon, or the Replication of Experiments in Physics ». *Sociology* 9 : 205-224, 1975.

COLLINS, Harry. « Les sept sexes : étude sociologique de la détection des ondes gravitationnelles ». In *La science telle qu'elle se fait. Anthologie de la sociologie des sciences de langue anglaise*, édité par Michel CALLON et Bruno LATOUR, 262-296. Paris : La Découverte, [1982] 1990.

DUHEM, Pierre. *La théorie physique. Son objet, sa structure*. Paris : Vrin, [1906] 1981.

FEYERABEND, Paul. *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*. Paris : Le Seuil, [1975] 1979.

JURDANT, Baudouin (éd.). *Impostures scientifiques. Les malentendus de l'affaire Sokal*. Paris/Nice : La Découverte/Alliage, 1998.

KANT, Emmanuel. *Critique de la raison pure*. Paris : Flammarion, [1781] 2006.

SOKAL, Alan, et Jean BRICMONT. *Impostures intellectuelles*. Paris : Odile Jacob, 1997.