

Relativité

Les preuves étaient fausses

Einstein avait raison ! Encore fallait-il le prouver. Au début du xx^e siècle, des scientifiques comme le Britannique Arthur Eddington avaient tant à cœur de vérifier la théorie de la relativité qu'ils ont tout mis en œuvre pour que leurs expériences soient probantes. Si, d'erreurs en manipulations, ils sont parvenus à "prouver Einstein", ils ont aussi démontré que l'on peut faire dire beaucoup de choses à la science. Il suffit de le vouloir.

Jean-Marc Bonnet-Bidaud
astronome (*)

LE MONDE entier a cru pendant plus de cinquante ans à une théorie non vérifiée. Car, nous le savons aujourd'hui, les premières preuves, issues notamment d'une célèbre éclipse de 1919, n'étaient pas. Elles reposaient en partie sur des manipulations peu avouables visant à obtenir un résultat connu à l'avance, et sur des mesures entachées d'incertitudes, quand il ne s'agissait pas de fraudes caractérisées. Il aura fallu attendre les années 1970 pour que de nouvelles méthodes parviennent enfin à fournir des preuves expérimentales solides de la relativité.

Cet épisode, encore peu connu, illustre la façon dont les certitudes scientifiques s'établissent parfois sur des bases douteuses. Aujourd'hui encore, des observations bien fragiles comme celles des lointaines supernovae, qui semblent indiquer une accélération de l'expansion de l'Univers et l'existence d'une énergie du vide inconnue, semblent tout aussi aléatoires, alors qu'elles sont souvent considérées comme définitives. Devant la pression du résultat, l'objectivité scientifique se trouve bien souvent négligée.

Retour aux années glorieuses. En ce matin du 6 novembre 1919, toutes les sommités scientifiques du royaume sont réunies à Londres pour assister à un événement mémorable, qui restera à jamais gravé dans la mémoire collective. Dans les locaux de la Société astronomique royale, Sir Frank Watson Dyson, l'astronome royal, ●●●



*Jean-Marc Bonnet-Bidaud est astrophysicien au CEA, spécialiste

de l'astrophysique des hautes énergies (et conseiller scientifique pour "Ciel & Espace"). Il s'intéresse à l'évolution des idées en astronomie, notamment aux racines de l'astronomie ancienne en Afrique et en Chine et à l'histoire récente de la cosmologie.

A. Pellerin/CEA Photos

Après avoir pointé les étoiles sur les clichés pris pendant l'éclipse totale du 29 mai 1919 (ci-contre), Sir Arthur Eddington (en bas) mesure un décalage par rapport à leur position connue. Il conclut alors à la validité de la théorie d'Einstein.

THEORY OF RELATIVITY
ECLIPSE SHOWED GRAVITY VARIATION





Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944), brillant astronome britannique, est surtout réputé pour ses travaux sur la théorie de la relativité. Il a été le directeur de l'observatoire de Cambridge.

Franck Dyson (1868-1939) fut astronome royal de 1910 à 1933. Rendu célèbre par ses travaux sur les éclipses solaires, il épaula Eddington dans sa "démonstration" de la relativité.



Eddington se lance dans des calculs qu'il est le seul à contrôler, corrigeant ses propres mesures pour assurer le triomphe d'Einstein

●●● lointain successeur à cette charge du grand Isaac Newton, et le grand astronome anglais Arthur Eddington annoncent une nouvelle qui fait vaciller les fondements de la bonne vieille physique. À l'issue d'une observation menée quelques mois plus tôt lors d'une éclipse du Soleil, la toute nouvelle théorie de la gravitation proposée par Albert Einstein vient d'être vérifiée. Ses prédictions se sont révélées exactes et c'est donc un scientifique allemand qui vient de

détrôner l'illustrissime Newton au panthéon de la gravitation. Dans la salle, pointant un doigt vers le portrait du héros déchu, un des membres de la réunion, Ludwick Silberstein, tente bien une mise en garde : "Nous devons à ce grand homme d'agir très soigneusement pour modifier ou retoucher sa loi de la gravitation." Mais il ne sera pas entendu.

La lumière "va de travers"

Dès le lendemain, le *Time* de Londres titre "Révolution scientifique : une nouvelle théorie de l'Univers" et, deux jours plus tard, c'est au tour du *New York Times* d'afficher : "La lumière va de travers dans l'Univers". En dépit de l'opposition d'Einstein lui-même, l'"Einsteinmania" qui déferle sur les grandes capitales ne se démentira jamais. Un enthousiasme débridé qui va conduire à tous les excès.

Les trois tests "historiques" de la relativité — la déviation de la lumière, le décalage vers le rouge et la modification de l'orbite de la planète Mercure — sont tous liés à des effets infinitésimaux. Et pour détrôner Newton, il faut bien prouver que ces minuscules corrections étaient indispensables.

À la sortie de la Première Guerre mondiale, le Britannique Eddington prend connaissance de la relativité grâce à son ami hollandais de Sitter. Il trouve la théorie convaincante. Spécialiste des éclipses — il a déjà conduit une expédition au Brésil en 1912 — il trouve tout de suite la méthode imparable pour mesurer la déviation de la lumière induite par la gravité : il

faut pouvoir mesurer la position des étoiles quand le Soleil passe devant, chose possible uniquement lors d'une éclipse totale, seul cas où la lumière du Soleil ne cache pas celle des étoiles se trouvant à proximité sur la voûte céleste. En 1919, la situation s'annonce idéale car l'éclipse va se dérouler le 29 mai, avec le Soleil au milieu de l'amas d'étoiles brillantes des Hyades. L'expédition britannique envoie deux équipes indépendantes sur le trajet de l'éclipse : l'une dirigée par Andrew Crommelin dans la ville de Sobral, dans le nord du Brésil, l'autre conduite par Eddington lui-même sur l'île de Principe, en face de Libreville, au Gabon. Le matériel embarqué est des plus sommaires au regard des moyens actuels : une lunette astronomique de seulement 20 cm de diamètre en chaque lieu, avec un instrument de secours de 10 cm à Sobral. Pour éviter l'emploi d'une monture mécanique trop lourde à transporter, la lumière est dirigée vers les lunettes par de simples miroirs mobiles, ce qui se révélera être un bien mauvaise idée.

La stratégie est assez complexe. Il s'agit d'exposer des plaques photographiques durant l'éclipse pour enregistrer la position d'un maximum d'étoiles autour du Soleil, puis de comparer avec des plaques témoins de la même région du ciel obtenues de nuit, quelques mois plus tard. La différence des positions entre les deux séries de plaques, avec et sans le Soleil, serait la preuve de l'effet de la relativité et le résultat est bien sûr connu à l'avance. Problème non négligeable : la différence attendue est minuscule. Au maximum, au bord même du Soleil, l'écart prévu est seulement de un demi dix-millième de degré, soit très précisément 1,75 seconde d'arc (1,75"), correspondant à l'écart entre les deux bords d'une pièce de monnaie observée à 3 km de distance ! Or, quantités d'effets parasites peuvent contaminer les mesures, la qualité de l'émulsion photographique, les variations dans l'atmosphère terrestre, la dilatation des miroirs...

LE JOUR J, l'équipe brésilienne voit le ciel se dégager au dernier moment mais Eddington n'aperçoit l'éclipse qu'à travers les nuages ! Sa quête est très maigre, tout juste deux plaques sur lesquelles on distingue à peine cinq étoiles. Pressé de rentrer en Angleterre, Eddington ne prend même pas la précaution d'attendre les plaques témoins. Les choses vont beaucoup mieux à Sobral : 19 plaques avec plus d'une dizaine d'étoiles et huit plaques prises avec la

lunette de secours. L'équipe reste sur place deux mois pour réaliser les fameuses plaques témoins et, le 25 août, tout le monde est en Angleterre. Eddington se lance dans des calculs qu'il est le seul à contrôler, décidant de corriger ses propres mesures avec des plaques obtenues avec un autre instrument, dans une autre région du ciel, autour d'Arcturus. Il conclut finalement à une déviation comprise entre 1,31" et 1,91" : le triomphe d'Einstein est assuré !

Données escamotées

Très peu sûr de sa méthode, Eddington attend anxieusement les résultats de l'autre expédition qui arrivent en octobre, comme une douche froide : suivant une méthode d'analyse rigoureuse, l'instrument principal de Sobral a mesuré une déviation de seulement 0,93". La catastrophe est en vue. S'ensuivent de longues tractations entre Eddington et Dyson, directeurs respectifs des observatoires de Cambridge et de Greenwich. On repêche alors les données de la lunette de secours de Sobral, qui a le bon goût de produire comme résultat un confortable 1,98", et le tour de passe-passe est joué. Dans la publication historique de la Royal Society, on lit comme justification une simple note : "Il reste les plaques astrographiques de Sobral qui donnent une déviation de 0,93", discordantes par une quantité au-delà des limites des erreurs accidentelles. Pour les raisons déjà longuement exposées, peu de poids est accordé à cette détermination." Plus loin, apparaît la conclusion catégorique : "Les résultats de Sobral et Principe laissent peu de doute qu'une déviation de la lumière existe au voisinage du Soleil et qu'elle est d'une amplitude exigée par la théorie de la relativité généralisée d'Einstein." Les données gênantes ont donc tout simplement été escamotées. L'épisode, désormais reconstitué avec précision, a fait l'objet, à partir de 1980, de travaux d'historiens des sciences américains comme Earman et Glymour. L'affaire était en effet suffisamment préoccupante

pour justifier une nouvelle analyse des observations à l'occasion du centenaire de la naissance d'Einstein ; et la réputation de l'astronomie anglaise était en jeu. Bizarrement, les plaques d'Eddington ont disparu. En revanche, celles de Sobral demeurèrent à l'observatoire de Greenwich. L'analyse moderne d'Andrew Murray, astrométriste à Greenwich, a conclu que les miroirs et les plaques principales de Sobral étaient très affectés par la différence de température lors de l'éclipse. En tenant compte de cette dilatation inattendue, la déviation discordante de 0,93" deviendrait 1,53", du moins si l'on en croit le personnel de Greenwich, car cette révision est restée une pure affaire de famille. Il est plus que probable que la précision de l'ensemble des données de l'époque ait été largement surestimée. Car il semble rigoureusement impossible que l'on ait pu arriver au résultat de 1919 par cette méthode. Même les dernières tentatives menées par l'université du Texas, lors d'une éclipse, en 1972, n'ont permis de situer la déviation que quelque part entre 1,47" et 1,85".

COMME le souligne lucidement Francis Everitt, spécialiste de la gravitation, "il est impossible d'éviter l'impression — en fait Eddington le dit littéralement — que les expérimentateurs ont approché leur tâche avec la détermination de prouver Einstein. Seuls les désarmants 'effets de manche' d'Eddington pouvaient convaincre quiconque qu'il s'agissait d'une bonne vérification de la relativité."

Et ce n'était que la première étape. Eddington va aussi s'attacher à prouver le décalage vers le rouge de la lumière en présence de gravitation prédit par la relativité. De nouveau, l'effet est très minime et les efforts se concentrent encore vers le Soleil car la gravitation y est importante. Normalement, la lumière à la surface d'une étoile doit être légèrement "retenue" par la gravité et perdre un peu d'énergie, mais il s'agit tout juste de 0,0002% à la surface du Soleil. Cette perte ●●●

GIVEN THE SPEED, TIME IS NAUGHT

If Man Moved with the Velocity of Light He Might Remain Unchanged for 1,000 Years.

THE THEORY OF RELATIVITY

Among Other Things, It Makes Simultaneity of Two Widely Separated Events Impossible.

EINSTEIN EXPOUNDS HIS NEW THEORY ECLIPSE SHOWED GRAVITY VARIATION

It Shows Absolute Time and Space, Respecting Them Only as Related to Moving Systems.

MAILED AS EPOCHMAKING

IMPROVES ON NEWTON

Shows Approximations Made for Most Motions, but Not Those of the Highest Velocity.

REQUIRED AS NEWTON WAS

Not by the Fall of a Nail from a Nail Head of the Nail of an Anvil.

Direction of Light Rays Accepted as Affecting Newton's Principles.

What Newton Calls the Elementary One of the Causes of most Accidents.

New York Times articles, October 2, 1918; May 8, 1918; & Oct. 5, 1918.

Au lendemain de l'annonce des résultats obtenus par Eddington et Dyson, la nouvelle est annoncée comme un événement dans le monde entier. Ci-dessus, des extraits de trois articles publiés dans le *New York Times* en novembre et décembre 1919.

Les tests historiques de la relativité

↳ **La fameuse** relation $E=mc^2$ implique que toute masse est équivalente à une énergie et toute énergie est équivalente à une masse. La lumière emportant de l'énergie, elle se comporte donc comme une masse et, comme telle, elle doit être déviée par l'action d'attraction de la gravitation, par exemple lorsqu'elle passe près du Soleil. La déviation de la lumière est aujourd'hui vérifiée grâce à des radiosources cosmiques puissantes, les quasars, qui, à la différence des étoiles, sont observables même en présence du Soleil. Leurs positions précises, mesurées grâce au réseau de radiotélescopes VLBI, ont fourni aujourd'hui un accord à 0,2% avec les prédictions de la relativité. Différentes distorsions des images cosmiques (images multiples, lentilles gravitationnelles) sont attribuées à cet effet. L'équivalence de la masse et de l'énergie pour la lumière a une deuxième conséquence : la lumière qui

s'échappe d'une étoile doit "sentir" les effets de la gravitation et être légèrement décalée vers le rouge. Cet effet n'est pas mesuré avec suffisamment de précision grâce aux étoiles car leurs masses et rayons ne sont pas connus exactement. Un test équivalent est réalisé en utilisant une horloge dont le mouvement est ralenti par la gravité. Le meilleur test a été fait en 1976 dans le champ de gravité de la Terre, par comparaison d'une horloge en orbite avec une horloge au sol, avec un accord de 0,7% avec la relativité. Cette correction est appliquée aux horloges GPS. Enfin, la relativité prédit un décalage des orbites par rapport aux lois de Newton. Le meilleur test est réalisé sur l'orbite de Mercure avec un accord de 0,5%. Ce même effet est aussi mesurable sur des orbites d'étoiles très denses, les pulsars, mais l'incertitude sur les caractéristiques exactes des étoiles empêche un test plus précis.



Walter Adams, le directeur de l'observatoire du mont Wilson, en Californie mettra le grand télescope Hooker au service d'Arthur Eddington et des ses travaux de mesure. Les résultats, publiés en 1925, sont plutôt confus.

La naine blanche Sirius B (ci-dessous, à g.) et Mercure (à dr.), deux corps célestes sur lesquelles Eddington s'est appuyé pour prouver la relativité.

... doit se traduire par un décalage vers le rouge, qui peut être visible par un déplacement des raies sombres marquant l'existence des éléments chimiques dans la lumière des étoiles. Évidemment, les premières mesures d'un effet aussi subtil sur le Soleil, prises entre 1911 et 1915, ne sont pas concluantes, et ce deuxième test historique semble être mis en échec quand intervient une découverte inespérée.

Autour de l'étoile brillante Sirius, on découvre une petite étoile, Sirius B, à la fois très chaude et très faiblement lumineuse. Pour expliquer ces deux particularités, il faut supposer que l'étoile est aussi massive que le Soleil et aussi petite qu'une planète comme la Terre. C'est Eddington lui-même qui aboutit à cette conclusion dont il voit vite l'intérêt : avec de telles caractéristiques, ces naines blanches sont extrêmement denses et leur gravité très puissante. Le décalage vers le rouge de la gravitation est donc 100 fois plus élevé que sur le Soleil. Une occasion inespérée pour mesurer enfin quelque chose d'appréciable.

Eddington s'adresse aussitôt à Walter Adams, directeur de l'observatoire du mont Wilson, en Californie, afin que le télescope de 2,5 m de diamètre Hooker entreprenne les vérifications. Selon ses estimations, basées sur une température de 8000 degrés de Sirius B, mesurée par Adams lui-même, le décalage vers le rouge prédit par la relativité, en s'élevant à 20 km/s, devrait être facilement mesurable. Adams mobilise d'urgence le grand télescope et expose 28 plaques photographiques pour réaliser la mesure. Son rapport, publié le 18 mai 1925, est très confus car il mesure des vitesses allant de 2 à 33 km/s. Mais, par le jeu de corrections arbitraires dont personne ne comprendra jamais la logique, le décalage passe finalement à 21 km/s, plus tard corrigé à 19 km/s, et Eddington de conclure : "Les résultats peuvent être considérés comme

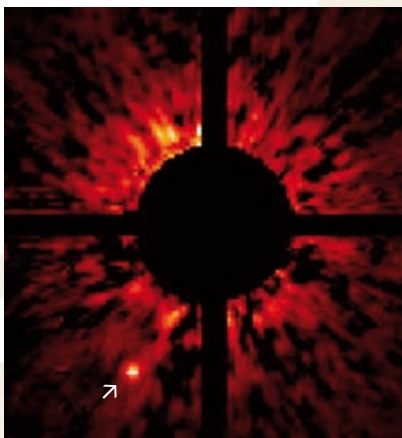
fournissant une preuve directe de la validité du troisième test de la théorie de la relativité générale." Adams et Eddington se congratulent, ils viennent encore de "prouver" Einstein.

C E résultat, pourtant faux, ne sera pas remis en cause avant 1971. Manque de chance effectivement, la première mesure de température de Sirius B était largement inexacte : au lieu des 8000 degrés envisagés par Eddington, l'étoile fait en réalité près de 30000 degrés. Elle est donc beaucoup plus petite, sa gravité est plus intense et le décalage vers le rouge mesurable est de 89 km/s. C'est ce qu'aurait dû trouver Adams sur ses plaques s'il n'avait pas été "influencé" par le calcul erroné d'Eddington. L'écart est tellement flagrant que la suspicion de fraude a bien été envisagée. Les défenseurs d'Adams ont fait valoir que les mesures étaient sans doute fortement contaminées par la lumière parasite de Sirius, très proche, mais ces "détails" n'ont, à l'époque, embarrassé personne.

De la chance et... du flair

L'épilogue du dernier test de la relativité, celui de l'orbite de Mercure, est encore plus passionnant. Ce fut en réalité un test *a posteriori* de la théorie, puisque la prédiction a fait suite à l'observation et ne l'a pas précédée. L'accord est stupéfiant. Le décalage observé dans la position de Mercure est de 43,11" par siècle, tandis que la prédiction de la relativité est de 42,98" par siècle ! Cette révision de l'horloge cosmique est toujours considérée comme le grand succès d'Einstein, mais elle est encore sous l'épée de Damoclès. En effet, des scientifiques soupçonnent que le Soleil pourrait ne pas être rigoureusement sphérique et un "aplatissement" réel introduirait une correction supplémentaire. La précision actuelle deviendrait alors le talon d'Achille compromettant le bel accord de la théorie.

Eddington a certainement eu de la chance, et beaucoup de flair. Car, finalement, ces fameux tests de la relativité s'avèrent concluants un demi-siècle après leur existence (lire l'encadré p. 55). Mais les premiers résultats légendaires, totalement impossibles à obtenir, sont à effacer de l'histoire. Selon des historiens de sciences, Eddington a peut-être été peu regardant sur la rigueur scientifique des résultats. Mais pour la bonne cause. Son appartenance à la secte chrétienne de la Société religieuse des amis (les fameux quakers) l'amena à devenir objecteur de conscience pendant la guerre de 1914. Il aurait voulu, après le conflit, œuvrer à travers Einstein à la réconciliation. Ses erreurs et ses excès illustrent malheureusement les travers répétés de la science lorsqu'elle se fixe comme objectif de conforter un résultat considéré comme acquis. ●



Jean-Marc Bonnet-Bidaud

Nasa/JHU/APL/Carnegie Inst./C&E Photos

Le test de Mercure fut en fait un test *a posteriori* de la théorie, puisque la prédiction a fait suite à l'observation

CE SUJET VOUS INTÉRESSE ?

Retrouvez Philippe Henarejos, rédacteur en chef de *Ciel & Espace* avec Christian Sotty et Jean-Yves Casgha dans l'émission **MICROMÉGA** sur RFI (89 FM) le 4 mars, à 14 h 10 TU.

