Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 64 (2006)
Heft: 334

Artikel: L'expérience d'Eddington : récit et impact
Autor: Coquille, Loren
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897692

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

L'expérience d'Eddington Récit et impact

LOREN COQUILLE

1. Introduction

Le présent article a pour but de faire un exposé historique de l'expérience menée par EDDINGTON lors de l'éclipse du 29 mai 1919, cette dernière ayant été perçue comme une importante vérification de la Relativité Générale, et marquant le début de la grande célébrité d'EINSTEIN. Les réactions enthousiastes et critiques de l'époque seront présentées, et l'impact général de l'expérience sera esquissé avec l'éclairage des contextes scientifique, historique, politique ou encore philosophique, dans le but de mieux comprendre les controverses relatives à ce sujet.

2. Historique

a. De Newton à Einstein

Le cadre de la mécanique classique a sous-tendu la description d'une grande partie des phénomènes connus, de la fin du XVIIe jusqu'au début du XXe siècle. A la suite des travaux fondateurs de GALILÉE au XVIe siècle, c'est NEWTON qui formalisa cette théorie en publiant en 1687 ses *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Il y présente les lois mathématiques décrivant toutes les formes de mouvement dans l'univers. La chute d'une pomme et l'orbite de la Lune autour de la Terre sont les manifestations d'une seule et même loi: la Gravitation universelle.

Mouvement signifie ici «évolution dans l'espace et dans le temps». En mécanique classique, on travaille dans un espace euclidien (celui dans lequel le postulat des parallèles est vrai, et qui est décrit par une géométrie plane), «inflexible», immobile. Le temps, d'autre part, est absolu: il s'écoule à la même vitesse pour tout observateur.

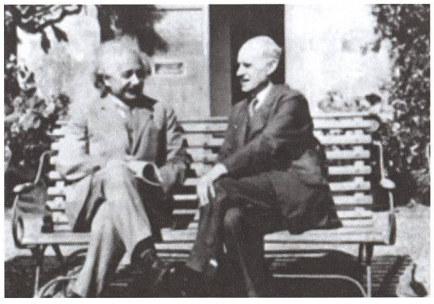
Au XIXe siècle, la théorie de l'électrodynamique de MAXWELL, notamment, met en évidence des phénomènes qui montrent les limitations de la description classique. En 1905, Einstein publie la théorie de la Relativité Restreinte, qui décrit la dynamique des corps en mouvement dans un référentiel inertiel (i.e. non accéléré, où le principe d'inertie est réalisé). En postulant que la vitesse de la lumière dans le vide constitue une limite supérieure pour la transmission d'une information, il introduit une conception révolutionnaire de l'espace et du temps, en rupture avec celle de NEWTON et GALILÉE: l'«Espace-temps» est le cadre de cette nouvelle mécanique. Les coordonnées spatiales (3) et temporelle (1) forment un espace, au sens mathématique du terme, qui n'est pas euclidien. Le temps n'est plus absolu: deux événements simultanés dans un référentiel ne le sont pas dans un autre.

Mais la Relativité Restreinte appelle elle-même à une théorie plus générale, valable pour les référentiels accélérés: elle sera publiée par EINSTEIN en 1916, c'est la Relativité Générale. Cette théorie constitue une description complète du mouvement pour tout système, en tenant compte de la gravité. Et le nouvel angle sous lequel est décrite la gravité révolutionne la conception classique: du statut d'interaction a distance, elle passe à celui de déformation de l'espace-temps aux abords des corps massifs[1]. Cette notion va nous intéresser dans ce qui suit, puisqu'elle permet de prédire que la lumière, quoique de masse nulle, est aussi défléchie et ne se propage plus en ligne droite près d'un corps massif.

b. Validation de la relativité générale par l'expérience

En ce début du XXe siècle, les nouvelles idées introduites par EINSTEIN[2] ne sont pas acceptées de façon unanime par la communauté scientifique. Le pouvoir de prédiction, la puissance et la beauté de cette théorie fera peu à peu pencher la balance de façon décisive. Trois phénomènes mènent notamment à des «expériences cruciales»: le mouvement du périhélie de Mercure (écart par rapport aux lois de KEPLER: la trajectoire elliptique d'un corps en orbite autour d'un autre «tourne comme un spirographe»), le déplacement des raies spectrales vers le rouge (un atome absorbe ou émet de la lumière d'une fréquence qui dépend du potentiel du champ de gravitation dans lequel il se trouve), et la déviation de la lumière par le champ de gravitation. C'est cet effet que nous allons étudier.

Il faut savoir que les objets les plus massifs connus à l'époque étaient aussi très brillants, la possible existence de trous noirs n'étant pas encore considérée de façon sérieuse. Pour pouvoir vérifier la troisième prédiction ci-dessus de la Relativité Générale, EDDINGTON, célèbre astronome britannique[3], et EINSTEIN ont l'idée de profiter de l'occasion d'une éclipse totale de Soleil. En effet, la luminosité du Soleil est alors masquée, et les étoiles sont visibles. On peut donc étudier l'effet de ce corps massif sur le trajet des rayons lumineux émis par les étoiles. Nous allons voir ce qu'il s'agit plus précisément d'observer.



Einstein et Eddington, 1930.

3. Mesure de la déviation des rayons lumineux durant une éclipse de soleil

a. Physique

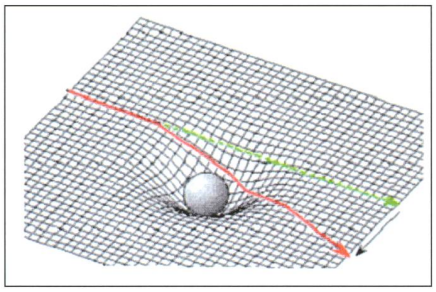
Comme nous l'avons vu, d'après la théorie de la Relativité Générale, un rayon lumineux passant à proximité d'un corps massif doit être dévié, car il suit la déformation de l'espace-temps engendré par ce dernier. De manière

[1] Dans tout le texte, le mot «massif» est utilisé pour signifier «possédant une masse», et non «possédant une grande masse».

[2] D'autres physiciens et mathématiciens ont eu un rôle dans l'élaboration de la théorie de la Relativité, mais je n'approfondirai pas ce sujet.

[3] **Eddington, sir ARTHUR STANLEY** (1882-1944). Astronome et physicien britannique, il est né à Kendal, aujourd'hui Cumbrie (Westmorland). Collaborateur principal de l'Observatoire royal de Greenwich de 1906 à 1913, il est nommé professeur d'astronomie à Cambridge. D'un point de vue théorique, il contribue à affiner la théorie de la Relativité, toutefois ses travaux les plus importants concernent l'évolution et la constitution des étoiles (équilibre radiatif, masse, température centrale, constitution interne). Ses travaux sur l'astronomie sont exposés dans son livre de référence *la Composition interne des étoiles,* publié en 1926. L'année suivante, il publie *Étoiles et atomes,* un résumé sur le même thème. Son ouvrage *la Nature du monde physique* (1928) est l'un des livres de vulgarisation scientifique les plus lus. Ses derniers ouvrages traitent de thèmes philosophiques et épistémologiques.

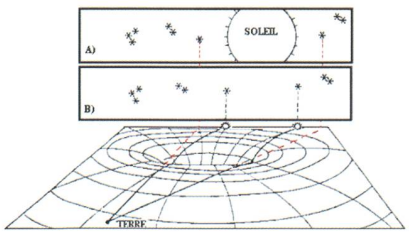
analogue, je répète que l'orbite d'un petit corps (possédant une masse) autour d'un plus massif est expliquée par l'influence sur le petit corps de la déformation de l'espace-temps engendrée par le grand (i.e. le petit corps ne fait que suivre une géodésique d'espace-temps). L'image habituellement utilisée pour se représenter ceci est celle d'un morceau de tissu, tendu, sur lequel on placerait une balle. La déformation du tissu fait que si on y lance une petite bille, elle va être déviée de sa trajectoire rectiligne initiale. Il faut toutefois être conscient que l'on représente ici l'espace-temps (qui possède 4 dimensions, dont une temporelle) par un tissu bidimensionnel (deux dimensions d'espace).



Représentation bidimensionnelle de l'espace-temps courbe

Lors d'une éclipse totale de Soleil, nous devrions donc voir les étoiles qui se trouvent autour du disque solaire à une position légèrement différente de celle qu'elle auraient si le Soleil n'était pas là (c'est-à-dire par exemple six mois plus tard). Plus précisément, nous devrions les voir écartées radialement autour du Soleil. La figure ci-dessous schématise la situation.

Décalage de la position des étoiles



Photographie pendant l'éclipse
Photographie hors éclipse

La théorie prévoit que l'angle de déviation pour un rayon qui passe à une distance (angulaire) du Soleil égale à Δ [R_{Soleil}] est le suivant:

$$\alpha = \frac{1.745''}{\Delta}$$

Autrement dit, une étoile située à l'extrême bord du disque solaire ne doit subir une déviation angulaire que de 1.745 seconde d'arc. Là se trouve toute la difficulté expérimentale.

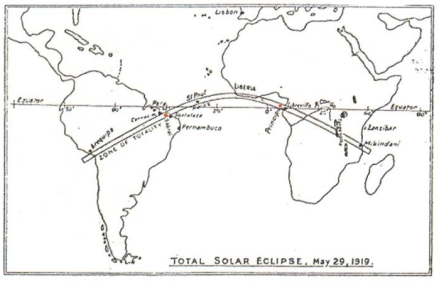
J'ouvre ici une petite parenthèse sur la valeur de cet angle maximal de déviation. On pourrait dire, ou tout du moins il a été dit entre 1905 et 1915, que cette déviation est due pour une moitié au champ d'attraction (newtonien) du Soleil et pour une moitié à la modification géométrique de l'espace produite par le Soleil. En effet, une première prédiction d'EINSTEIN, avant la Relativité Générale, n'utilisait que la Relativité Restreinte et aboutissait à la moitié de cette déviation. Il faudrait expliquer ici comment on peut prédire une déviation des rayons lumineux en utilisant la théorie newtonienne de la gravitation et la Relativité Restreinte, mais je ne développerai pas ce sujet ici. Il est néanmoins important de mentionner que cette première interprétation était prise suffisamment au sérieux (momentanément du moins) par EINSTEIN et ses contemporains pour que, déjà en août 1914, une première expédition ait lieu: une équipe d'astronomes allemands décide d'aller observer l'éclipse totale qui devait se dérouler le 21 août en Sibérie. Mais la Première Guerre mondiale éclata et les scientifiques sont faits prisonniers par les Russes: aucune photographie du phénomène n'est prise. On entend dire aujourd'hui que cet échec «a sauvé» EINSTEIN. En effet, la Relativité Restreinte ne s'applique pas lorsqu'il s'agit de mesurer des effets sur de grandes distances, où le champ gravitationnel n'est pas constant.

b. Eclipse du 29 mai 1919

Dès 1916-17, EDDINGTON fait pression sur les autorités scientifiques pour organiser une expérience qui permettrait de mesurer la déviation des rayons lumineux lors d'une éclipse. DYSON, astronome royal de l'époque, s'intéresse à la proposition d'Eddington et attire son attention sur l'éclipse du 29 mai 1919, très favorable à une telle expérience (voir plus bas).

Mais nous somme au beau milieu de la Première Guerre Mondiale, et Eddington est un quaker, pacifiste et objecteur de conscience. Un dilemme s'annonce: en pleine guerre, il serait mal vu de ne pas l'envoyer au front, mais le risque de perdre un scientifique de renommée est grand (la mort récente d'un savant anglais au front est dans tous les esprits). DYSON intervient de manière cruciale dans l'affaire en réussissant à obtenir auprès des autorités un «sursis» pour EDDINGTON. Le compromis est le suivant: si la guerre finit avant 1919, EDDINGTON pourra partir mesurer la déviation des rayons lumineux. L'histoire a fait qu'Eddington a pu partir.

Dès lors, deux expéditions sont organisées. Le trajet de l'éclipse du 29 mai 1919 passe par le Nord du Brésil, l'Océan Atlantique et l'Afrique occidentale. Une première équipe (notamment Davidson et Crommelin, tous deux astronomes à Greenwich) est envoyée à Sobral, au Brésil, et la deuxième équipe (notamment EDDINGTON et COTTINGHAM, tous deux astronomes à Cambridge) est envoyée sur l'île de Principe dans le Golf de Guinée.



Bande de totalité de l'éclipse de 1919.

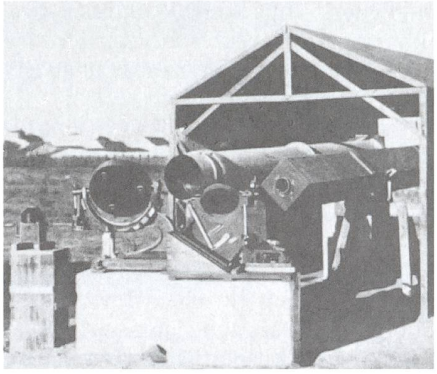
Durant l'éclipse, le Soleil traverse l'amas des Hyades, dans la constellation du Taureau: ces étoiles étant brillantes, la situation est optimale (beaucoup d'étoiles sont visibles, sans être masquées par la couronne solaire, ce qui permet de prendre en compte plusieurs mesures et améliorer la précision globale).

Le matériel d'observation emporté par les deux équipes est le suivant: à Sobral, la lunette astrographe de Greenwich, une lunette de 4-inch et le coelostat[4] de la Royal Irish Society; à Principe, la lunette astrographe d'Oxford. Les images des étoiles sont enregistrées sur des plaques photographiques.

Le jour de l'éclipse, la météo décrite par l'équipe de Sobral mentionne beaucoup de nuages, puis un «grand trou clair» juste avant l'éclipse. Le ciel autour du Soleil est à peu près clair pendant les quelques minutes cruciales.

A Principe, d'autre part, un orage s'est déclaré le matin de l'éclipse. Au milieu de l'après-midi, le ciel s'est partiellement éclairci et des photos sont prises à travers les nuages.

[4] Un coelostat est un miroir suivant le mouvement apparent du Soleil dans le ciel et amenant l'image du Soleil dans un instrument d'observation. Cela permet de maintenir l'instrument d'observation stable, et éviter ainsi des déformations optiques dues à différentes positions d'observation.



Instruments utilisés à Sobral, le 29 mai 1919.

Je donne ici les résultats finaux (après sélection des plaques et moyenne des déviations) annoncés ultérieurement par la Royal Society, mon but étant ensuite de discuter la pertinence des résultats au vu du contexte historique.

A Sobral, les plaques prises avec la lunette sont dites satisfaisantes, voir «excellentes». Par contre, un problème de mise au point de l'astrographe a été rencontré (la mise au point avait été faite la veille, et la température a changé pendant la nuit et durant l'éclipse, la rendant mauvaise). Les plaques de référence (lorsque le Soleil n'est pas dans la constellation du Taureau, i.e. quelques mois plus tard) ont été prises en Angleterre. La déviation moyenne annoncée est de:

1"98 ± 0"12

A Principe, deux plaques photographiques seulement sont dites utilisables par EDDINGTON, à cause des nuages. Il restera à Principe quelques mois pour prendre les plaques de référence sur place. La déviation moyenne annoncée est de:

1"61 ± 0"30

Comme on peut le remarquer, ces deux valeurs se situent juste autour de la valeur théorique de 1"745 prédite par Einstein.

Dans la section qui suit, je vais analyser plus en détail la démarche d'interprétation des résultats, vu les conditions d'observation décrites ci-dessus. Cela me mènera à aborder les critiques et le discrédit de l'expérience par une certaine catégorie de scientifiques à l'annonce des résultats. Je discuterai enfin le contexte historique qui permet d'expliquer l'enthousiasme des protagonistes et l'impact global de l'expérience d'Eddington.

c. Interprétations et annonce des résultats

Il est important de signaler ceci à propos du contexte expérimental: il s'agissait à l'époque de trancher entre:

1. Une déviation nulle
2. Une déviation de 0.87 seconde d'arc (déviation «Newtonienne», cf. remarque plus haut)
3. Une déviation de 1.745 secondes d'arc (déviation «Einsteinienne»)

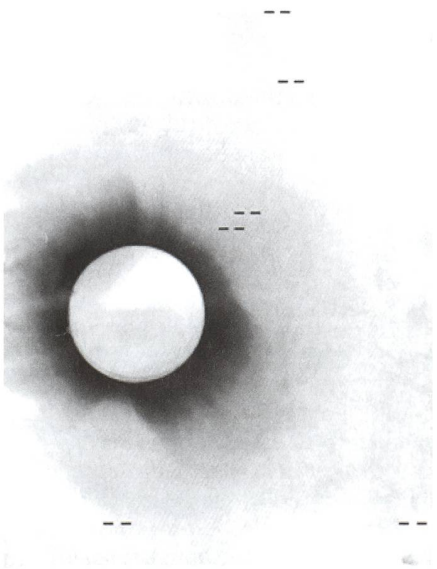
Dès lors, la déviation à mesurer étant très petite, il est d'autant plus difficile de trancher entre les deux dernières alternatives.

D'autre part, cette déviation est d'autant plus faible que les étoiles sont loin du limbe solaire. Il s'agit en fait de voir si les déviations des étoiles varient comme 0.87"/Δ ou comme 1.745"/Δ (avec les notations utilisées plus haut). On peut alors comprendre que les résultats permettant le mieux de trancher seraient ceux concernant les étoiles situées à moins de 2 rayons solaires du limbe. Or seules deux étoiles se trouvaient dans cette situation pendant l'éclipse de 1919.

De plus, l'interprétation des résultats doit impérativement tenir compte de:

Zoom sur une étoile. La petite ligne rouge montre de combien la position de l'étoile a été décalée par l'influence gravitationnelle du Soleil.

Négatif d'une plaque photographique prise pendant l'éclipse.



1. La mise au point des instruments d'observation
2. La précision des instruments
3. La turbulence atmosphérique
4. La grandeur du disque d'Airy ou tache de diffraction des étoiles sur la plaque photographique.
5. Le nombre d'étoiles observées, leur distribution autour du Soleil
6. (Dans une moindre mesure) l'effet de réfraction dans la couronne solaire pour les étoiles qui se trouvent dans cette zone.

Au vu de cette extrême difficulté expérimentale, les résultats sont longuement discutés. EDDINGTON reste en Afrique quelques mois, compare les plaques, décrit ses observations et sélectionne les meilleures plaques à partir desquelles le résultat moyen sera calculé.

Finalement, le 6 novembre 1919 est organisée une rencontre de la Royal Society à Londres: DYSON prend la parole et ne fait plus place au doute de la pertinence des résultats. L' «effet EINSTEIN» a été observé avec succès. Cette réunion a été décrite comme un «drame grec» par ALFRED WHITEHEAD, l'annonce ayant été faite de manière solennelle sous le portrait de Newton.

Beaucoup d'articles, de l'époque et ultérieurs, ont eu pour but de montrer que la précision désirée était impossible à obtenir avec les instruments utilisés, qu'EDDINGTON «a vu ce qu'il voulait voir», ou a donné plus de poids aux mesures allant dans le sens de la déviation prévue par EINSTEIN. Pour se faire une opinion, il me semble déterminant d'étudier, en plus du contexte scientifique, les contextes historique et philosophique de ce début du XXe siècle.

4. Impact des événements, facteurs permettant une critique de l'expérience d'EDDINGTON

a. Courants de pensée dominants au début du XXe siecle

Les deux courants de pensée dominants qui nous intéressent ici sont le Kantisme et le Positivisme logique, qui proposent deux versions d'une théorie de la connaissance.

D'une part, dans la philosophie provenant d'EMMANUEL KANT, il existe des formes a priori de la connaissance (espace, temps, géométrie euclidienne), à travers lesquelles on appréhende les phénomènes, et qui sont la condition même de notre connaissance du réel. De plus, la réalité «en soi» est pensable (noumène).

L'avènement de la théorie de la Relativité bouleverse un trait représentatif de la philosophie kantienne, telle qu'elle était perçue à l'époque: en effet, cette nouvelle théorie est la preuve que d'autres géométries (non euclidiennes) peuvent être utilisées de manière fructueuses pour décrire le monde. Le néo-kantisme (cf. Cassirer), naissant à cette époque, se donnera entre autre pour buts de montrer que la philosophie de Kant reste valide avec des extensions appropriées.

D'autre part, un grand trait commun aux deux écoles du Positivisme (ou Empirisme) logique (Cercle de Vienne, Gesellschaft für empirische Philosophie) peut être résumé ainsi. Ce dont on peut parler de manière sensée est réduit à ce qui peut être l'objet d'une expérience. Einstein s'inscrit dans ce courant de manière indirecte, par l'élaboration de sa théorie de la Relativité: par exemple, en Relativité Restreinte, l'espace, la simultanéité sont d'emblée définis par le résultat d'une expérience, et non par une représentation a priori qu'en a l'être humain. Il devient, après MACH (mort en 1916), le symbole par excellence du «nouveau» savant, du point de vue de la méthodologie scientifique. (MACH pensait que la science devrait se restreindre à la description de phénomènes pouvant être perçus par les sens. Ses écrits participèrent pour beaucoup à la libération de la science des concepts métaphysiques et aidèrent à établir une méthodologie scientifique qui «pava la route» pour la théorie de la Relativité.)

C'est donc dans ce contexte que doivent s'interpréter les événements qui ont conduit à la validation de la Relativité Générale d'Einstein. (Il est intéressant de remarquer quec'est au moment même où les positivistes «s'appropriaient» le personnage d'Einstein, que ce dernier était entrain de changer de philosophie: il donnait de plus en plus d'importance au rôle de considérations comme la beauté mathématique dans l'élaboration d'une théorie scientifique, considérations sortant a priori du cadre du positivisme.)

b. Influence des événements politiques

Du côté des facteurs politiques et «humains», on ne peut pas négliger qu'après des années de guerre, le triomphe d'EINSTEIN apportait au bon moment une vision nouvelle de l'univers. Il s'agissait d'assister au triomphe d'une théorie universelle, désintéressée, après les horreurs de la guerre. De plus, EDDINGTON étant anglais et EINSTEIN allemand, le symbole de réconciliation de ces nations était fort.

Il faut savoir qu'une «campagne contre EINSTEIN» a eu lieu en 1920, répondant à l'enthousiasme jugé exagéré en faveur de la Relativité Genérale, à la suite des résultats de l'expérience d'EDDINGTON. Ce mouvement a souvent été dit motivé par des arguments antisémites, mais l'analyse des faits se révèle plus complexe. Je renvoie à la référence [5] (Personnages notamment impliqués: WEYLAND, LENARD) Mis à part cela, nombre de scientifiques de l'époque étaient suspicieux: EDDINGTON a du faire des corrections significatives pour des raisons techniques, et a laissé de côté certaines plaques photographiques. Comme déjà mentionné, beaucoup d'écrits ont tenté de prouver qu'une telle expérience ne pouvait pas valider la théorie d'EINSTEIN.

c. Réaction de la presse

La grande célébrité et popularité d'Einstein auprès du «grand public» a commencé en novembre 1919, le lendemain de l'annonce des résultats de l'éclipse du 29 mai. La rapidité d'un tel engouement est phénoménale: en un jour, EINSTEIN fait la une des journaux du monde entier. On peut distinguer deux pôles en analysant l'annonce de la nouvelle: d'une part la réaction de la presse allemande, et d'autre part celle de la presse anglaise et américaine.

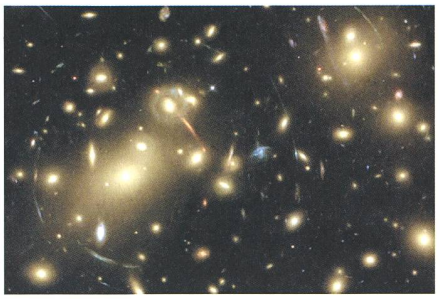
Du côté de la presse allemande, des articles ont déjà paru avant novembre 1919, les gens sont pour ainsi dire «préparés» à l'annonce de la nouvelle. Remarquons que les articles allemands de l'époque étaient axés avant tout sur l'explication de la théorie d'EINSTEIN, sur l'information.

Par contre, du côté de la presse anglaise et américaine, très peu d'articles ont paru avant le mois de novembre, les gens sont beaucoup moins, voire pas du tout préparés à une telle annonce; dès le 7 novembre les articles sont sensationnalistes (même dans les journaux réputés sérieux) et mènent rapidement à un culte de la personnalité d'EINSTEIN, souvent décrit comme une «déification» ou une «sacralisation».

EINSTEIN est rendu très vite célèbre dans ces trois pays, mais de manière différente. Dès cette période, les biographies d'EINSTEIN fleurissent, et mettent en avant «l'homme plus que le savant», comme l'on dit.

5. Succès de la relativité générale

Par la suite, les confirmations successives de l'«effet Einstein» se multiplient, éclipse après éclipse, avec de plus en plus de précision, surtout grâce à la radioastronomie. En effet, les expériences similaires à celle d'EDDINGTON donnant rarement une précision satisfaisante, une jolie mise en évidence de la déviation tant convoitée a été faite en mesurant la déviation des ondes radio émises par des quasars, lorsque ces derniers sont «éclipsés» par le Soleil. Je cite également l'effet de lentille gravitationnelle qui est une manifestation de l'effet Einstein à grande échelle: sur la photo ci-dessous, un amas de galaxies courbe l'espace-temps, les arcs colorés sont les images déformées de galaxies deux fois plus lointaines que l'amas. Cet effet permet de cartographier la répartition de masse de l'amas, et parfois de découvrir des objets lointains.



Abell 2218, lentille gravitationnelle.

Au-delà de la déviation des rayons lumineux, la théorie de la Relativité Générale a obtenu de grands succès expérimentaux dans la deuxième moitié du XXe siècle. Je laisse au lecteur le soin de se forger une opinion sur le rôle et la pertinence de l'expérience d'EDDINGTON au vu du contexte historique développé ci-avant.

LOREN COQUILLE
18, rue de Vermont
CH-1202 Genève

Bibliographies

[1] COLES PETER, Einstein, *Eddington and the 1919 Eclipse*, School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, arXiv:astro-ph/0102462 v1 27 Feb 2001.
[2] COLES PETER, *Eclipse that Changed the Universe*, article sur www.firstscience.com.
[3] EISENSTAEDT JEAN, *Einstein et la relativité générale*, Les chemins de l'espace-temps, CNRS Editions.
[4] EINSTEIN ALBERT, *La relativité*, Petite bibliothèque Payot, 1956.
[5] ELTON LEWIS, *Einstein, General Relativity, and the German Press*, 1919-1920, Isis, Vol.77, No.1. (Mar., 1986), pp.95-103.
[6] FRENCH A.P. (Sous la direction de), *Einstein, le livre du centenaire*, Hier et Demain, 1979.
[7] MC CAUSLAND IAN, *Anomalies in the History of Relativity*, Journal of Scientific Exploration, Vol.13, No.2, pp.271-290, 1999.
[8] *Encyclopédie* Microsoft® Encarta® 99. © 1993-1998 Microsoft Corporation.