

## Il y a 100 ans Le triomphe de la relativité générale

Pierre Magnien

*Le 29 mai 1919 moins d'un an après la fin d'une guerre meurtrière, la théorie révolutionnaire d'un Allemand était vérifiée à l'occasion d'une éclipse totale de Soleil par deux équipes d'astronomes anglais !! Nous célébrons donc en ce mois de mai 2019 le centenaire d'un événement exceptionnel confortant une théorie, la relativité générale conçue par l'esprit d'un seul homme, Albert Einstein, dont les prolongements sont encore aujourd'hui en plein développement. On détaille ici cette dernière étape de validation de ce monument de la pensée humaine après avoir exposé quelques éléments aux origines de ces expéditions scientifiques.*

### INTRODUCTION

La relativité générale est avant tout une théorie de la gravitation développée par un seul homme<sup>1</sup> entre 1907 et 1915. Auparavant ce dernier avait construit et publié en 1905 la théorie de la relativité restreinte dont le but initial était de mettre en accord la mécanique de Newton et l'électromagnétisme de Maxwell.

Pour y parvenir il avait posé comme principe de base que « les lois générales de la nature (par exemple les lois de la mécanique ou les lois concernant la propagation de la lumière dans le vide) ont exactement la même forme dans tous les référentiels se déplaçant les uns par rapport aux autres dans des mouvements rectilignes uniformes<sup>2</sup> ».

Mais pour A. Einstein le travail n'était pas terminé car, dans son esprit, il n'y avait aucune raison que le principe de relativité se limite aux référentiels galiléens et ne puisse pas être étendu à des mouvements relatifs quelconques entre référentiels.

Il se remet au travail sur la question dès 1907. Le chemin suivi jusqu'à ce 25 novembre 1915 où il présente devant l'Académie des Sciences de Prusse, à Berlin, la version « définitive » de sa théorie de la relativité générale, va être tortueux, souvent abrupt et lui demander des efforts considérables.

L'ouvrage final constitue une refonte totale de la manière d'appréhender la gravitation. Il ne s'agit pas d'une extension de la théorie newtonienne et A. Einstein n'a pas cherché à la modifier - par

<sup>1</sup> Même si A. Einstein a reçu l'aide de différents collègues à plusieurs occasions, l'architecture globale de la relativité générale doit lui être intégralement attribuée.

<sup>2</sup> « La relativité » - Albert Einstein - Petite Bibliothèque Payot. De tels référentiels sont dits galiléens ou inertiels.



exemple pour comprendre certains phénomènes que cette dernière ne parvenait pas à expliquer, comme le reliquat d'avance du périhélie de Mercure (découvert par Urbain Le Verrier en 1857 par le calcul) - mais a reconstruit intégralement l'édifice depuis ses fondations les plus profondes. Comme l'explique Marie Antoinette Tonnelat<sup>3</sup> « [En relativité générale, dans l'espace physique,] le rôle des masses n'est pas de créer des forces d'attraction, mais de courber l'univers dans leur voisinage. Dans cet univers courbe ainsi formé, les particules d'épreuve se

<sup>3</sup> « Histoire du principe de relativité » - M.A. Tonnelat - Flammarion 1971.

meuvent librement et décrivent les géodésiques<sup>4</sup> de cet univers ». Cependant, aussi « belle » soit-elle, une théorie ne peut s'imposer que si les faits expérimentaux en confirment ses conséquences calculables.

## LES EXPÉDITIONS EN VUE DE VÉRIFIER LA THÉORIE

Parmi les tests possibles, la mesure de l'angle de déviation d'un rayon lumineux lors de son passage à proximité d'un objet massif est étudiée par A. Einstein et, dès 1911 dans le cadre d'une première version de sa théorie, il avait calculé cet angle pour un rayon rasant le Soleil et avait trouvé une valeur de 0,84" d'arc.

À la suite de cette prévision il contacta plusieurs astronomes pour avoir leur avis sur la manière de procéder pour la vérifier. Tous étaient d'accord pour dire qu'il fallait effectuer l'expérience au moment d'une éclipse de Soleil au cours de laquelle des photographies du champ stellaire contenant notre étoile seraient prises pour être comparées ultérieurement à d'autres photographies du même champ prises à un autre moment où le Soleil y serait absent. L'écart de position des mêmes étoiles sur les documents correspondrait à l'angle de déviation recherché.

La première éclipse pouvant convenir pour une telle expédition était prévu le 21 août 1914 en Russie occidentale. Malheureusement l'Histoire en décida autrement puisque, début août, l'Europe s'embrasait dans le conflit de la première guerre mondiale : sur les terres russes l'équipe d'astronomes allemands ne pourra pas installer son matériel et rien ne pourra être tenté sérieusement avant la fin des hostilités<sup>5</sup>.

Ce contretemps sera mis à profit par A. Einstein pour finaliser sa théorie et réviser sa première prévision de la déviation d'un rayon lumineux à proximité du Soleil. En effet, dans sa version antérieure, le calcul s'appuyait uniquement sur son principe

4 Dans un espace courbe, on appelle géodésique la ligne reliant deux points de cet espace et ayant une longueur extrême (la plupart du temps minimale). Dans un espace euclidien c'est une droite.

5 L'éclipse totale de Soleil du 8 juin 1918 traversait essentiellement les USA et aurait pu permettre de faire cette vérification mais les astronomes américains n'avaient pas encore récupéré leur matériel resté en Russie en 1914. Réalisées avec des instruments mal adaptés, les observations ne donneront pas des résultats probants.

d'équivalence<sup>6</sup> posé dès 1907 et ne tenait pas compte de la courbure de l'espace-temps. Dans sa version définitive – et correcte ! – la valeur calculée était de 1,75" d'arc.

Cependant, en Angleterre, Arthur Eddington, alors à l'observatoire de Greenwich, suit depuis 1911 l'évolution des travaux d'A. Einstein et commence sérieusement à réfléchir à l'organisation d'une expédition lors d'une éclipse de Soleil. En 1917 l'Astronome Royal Frank Dyson, en poste à Greenwich, attire l'attention de ses collègues sur la possibilité d'utiliser l'éclipse du 29 mai 1919 pour réaliser ce test et demande à A. Eddington, devenu depuis 1914 directeur de l'observatoire de Cambridge, de réfléchir à une mission.

Cette éclipse est particulièrement intéressante car, à cette date, le Soleil se trouve dans un riche champ stellaire qui est celui des Hyades dans la constellation du Taureau. Sa ligne de centralité passe sur le Brésil, traverse l'océan Atlantique et s'achève en Afrique équatoriale.



Bien que la guerre semble toujours contrecarrer leurs efforts, la fin brutale des hostilités en novembre 1918 survient juste à temps pour rendre leur programme possible.

Pour doubler ses chances de réussite et améliorer la précision des résultats, A. Eddington, appuyé dans son projet par Frank Dyson, prévoit de monter deux expéditions : la première à Sobral, au Brésil, sera sous la direction de deux astronomes de Greenwich (C. Davidson et A. Crommelin) et la seconde sur l'île de Principe, au large du Congo, sous la direction d'A. Eddington lui-même accompagné de Cottingham.

6 Pour en savoir plus sur la construction de la relativité générale par Albert Einstein on peut consulter le document suivant sur le site du CLEA :

[http://clea-astro.eu/lunap/Relativite/relativite-restreinte-principes-et-applications/HISTOIRE\\_RG.pdf](http://clea-astro.eu/lunap/Relativite/relativite-restreinte-principes-et-applications/HISTOIRE_RG.pdf)

Le 8 mars 1919 les deux expéditions partent ensemble d'Angleterre et se séparent à Madère pour aller, chacune de son côté, installer leur matériel. À Principe, le matin du jour de l'éclipse, une pluie battante commence à tomber. Ce n'est que vers midi, pendant l'éclipse, que les nuages se dispersent à plusieurs reprises pendant quelques secondes.

Les astronomes en profitent pour prendre seize photographies - dont seulement deux seront pleinement exploitables - avec l'objectif de l'astrographe<sup>7</sup> de Cambridge ayant 33 cm d'ouverture. Les scientifiques de Sobral ont plus de chance et parviennent avec un instrument du même type et une lunette de 10 cm, à prendre vingt-sept photographies permettant de faire des mesures.

De retour en Angleterre les deux équipes dépouillent les plaques de verre. C'est une tâche délicate. En effet les 1,75'' d'arc calculées par A. Einstein ne concernent que le cas où l'étoile est dans une direction qui rase le disque solaire. Par exemple, à une distance de deux rayons solaires, l'angle est réduit à 0,6'' d'arc.

Quand on sait que sur une plaque photographique en verre utilisée derrière la lunette de l'expédition sur l'île de Principe, un décalage d'une seconde d'arc est visualisé par une distance de seulement 0,026 millimètres, on imagine facilement l'ampleur des difficultés ! De plus, la turbulence de l'air toujours présente déforme l'image des étoiles et la réfraction atmosphérique perturbe également le positionnement de ces images sur le support de gélatine.

Le 6 novembre, A. Crommelin présente les résultats finaux<sup>8</sup> lors d'une réunion conjointe de la Royal Society et de la Royal Astronomical Society : à Principe un rayon lumineux rasant le Soleil était dévié de  $1,60'' \pm 0,31''$  d'arc et à Sobral de  $1,98'' \pm 0,18''$  d'arc<sup>9</sup> : A. Einstein était victorieux dans son affrontement avec I. Newton !

7 Les astrographes utilisés sur chaque site sont ceux mis en œuvre depuis 1887 dans le cadre du programme international « Carte du ciel » lancé par l'amiral Mouchez, directeur de l'observatoire de Paris. Pour cette observation les deux objectifs de 33 cm ont été diaphragmés à une ouverture de 20 cm afin d'améliorer la qualité des images.

8 On trouvera le rapport final de des deux expéditions en se connectant à l'URL suivante : <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsta.1920.0009>

9 Des doutes ayant été exprimés à plusieurs reprises à propos de l'exactitude de ces valeurs, les plaques de 4 pouces de l'expédition de Sobral ont été remesurées en 1979 par F.G. Smith et A. Murray à l'aide d'instruments modernes à l'Observatoire Royal de Greenwich : le résultat final de  $1,90 \pm 0,11$  seconde d'arc confirme les résultats du travail de 1919.

On a beaucoup discuté de l'impartialité d'Eddington dans le traitement des plaques et qu'il voulait avant tout confirmer la théorie de la relativité. L'affaire est compliquée mais on remarquera simplement que, s'il n'est pas sûr qu'A. Einstein ait eu raison à ce moment-là, il est presque sûr que I. Newton a alors eu tort !

## La gloire s'abat sur Albert Einstein

Le 7 novembre 1919, le *London Times* intitule l'un de ses articles « Révolution en science : une nouvelle théorie de l'univers - Les idées de Newton renversées ». De même le *New York Times* écrivait en première page de son édition du 10 novembre : « Les lumières du ciel vont de travers ».

Mais contrairement à l'accueil enthousiaste de la presse anglo-saxonne, les médias allemands étaient étrangement plus réticents à titrer sur le sujet. Ce n'est que le 14 décembre 1919 que le *Berliner Illustrierte Zeitung* publiait une photographie d'Einstein accompagnée d'un article intitulé : « Un nouveau phare dans l'histoire du monde : Albert Einstein, dont les recherches représentent une révolution complète dans notre vision du monde et dont les résultats sont à l'égal de ceux d'un Copernic, d'un Kepler ou d'un Newton. »

Cette célébrité du savant l'accompagnera le restant de sa vie mais la relativité générale va voir rapidement l'intérêt des scientifiques retomber, rebutés par le caractère abscons de son outillage mathématique et par le faible nombre de cas concrets où on peut la mettre en œuvre.

Il faudra attendre le début des années 1970 pour voir renaître une activité de recherche importante autour de cette théorie qui, aujourd'hui, est extrêmement dynamique.

## Quelques éléments bibliographiques

« Interaction lumière matière » CC 121 automne 2010 p. 23 – C. Larcher

« Einstein le livre du centenaire » – A.P. French & Co – Hier & Demain 1979

« Lumière et gravitation » - J. Einsenstaedt – l'Astronomie Mai 1994

« Einstein et la relativité générale » - J. Einsenstaedt – CNRS Éditions 2007

« La quête d'Einstein » - J.M. Vigoureux – Éditions Ellipses 2005

■