

Éclipse de 1919

Jean Eisenstaedt, directeur de recherche émérite CNRS au Syrte, historien de la relativité

Avec cet article nous revenons sur l'expérience fondamentale validant les bases de la théorie de la relativité générale. L'enjeu était de taille pour A. Einstein qui avait déclaré d'emblée « on peut dire une chose avec certitude : si une telle déflexion n'existe pas, alors les hypothèses de ma théorie ne sont pas correctes ». Cet article historique décrit les différentes tentatives et le rôle des protagonistes de l'époque pour y parvenir.

L'élaboration

1905, une année extraordinaire pour Einstein qui publie quatre articles fondamentaux. En particulier l'article qui résout la question, lancinante depuis des dizaines d'années, de la constance de la vitesse de la lumière dans le vide. La relativité que l'on dira restreinte est née. Pourtant Einstein n'est pas totalement satisfait. Cette nouvelle cinématique est cohérente avec l'électromagnétisme de Maxwell mais la théorie de Newton est toujours basée sur la cinématique galiléenne. Deux cinématiques pour un même univers ? Voilà qui est inacceptable. Einstein vise une théorie relativiste de la gravitation, cohérente avec la relativité restreinte. Il lui faudra huit ans pour la construire.

Dès 1907 il a déjà en vue les trois tests (que l'on dira classiques), les seuls pour longtemps à accompagner, à soutenir sa théorie : l'avance du périhélie de Mercure, la déviation des rayons lumineux et le décalage des raies spectrales qui ne sera clairement observé que cinquante ans plus tard.

Car ce sont des tests extrêmement faibles et donc particulièrement difficiles à observer. C'est que la théorie de Newton rend compte quasiment parfaitement de l'influence de la gravitation sur la « banlieue » solaire. Seule la trajectoire de Mercure ne s'y plie pas, Einstein s'en servira pour savoir s'il est sur le bon chemin.

En 1912, avec l'aide de son ami et collègue à l'ETH de Zurich Marcel Grossmann, Einstein choisit de travailler dans un cadre riemannien, et propose plusieurs « essais » problématiques.

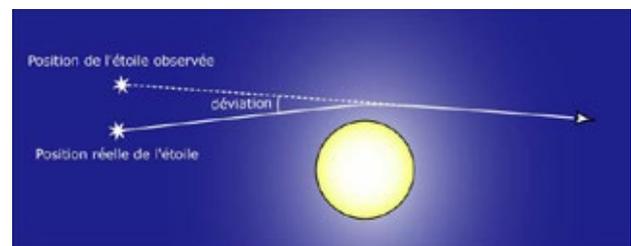
Enfin, en 1915 une nouvelle théorie, la relativité que l'on dira « générale », rend compte de l'avance du périhélie de Mercure. Eurêka ! La théorie d'Einstein est si nouvelle, si révolutionnaire – ne lui faut-il pas abandonner l'espace d'Euclide et bien des concepts newtoniens –, elle demande une telle implication que bien des physiciens, bien des astronomes ne voudront pas avant longtemps y croire et encore moins s'y impliquer. La théorie d'Einstein tiendra la route car elle supprime celle de Newton.

La déviation des rayons lumineux

Quant à la déviation des rayons lumineux, elle donne un souffle indispensable au projet. C'est un effet très faible, difficile à mesurer, à observer, mais qui apporte une image simple à cette théorie qui ne l'est guère et qui en a grand besoin. Une image qui marquera les esprits, dont l'influence a sans doute été très importante. En 1919 elle apportera la gloire à Einstein...

Au printemps 1911, Einstein se rend compte que l'effet de la déviation de la lumière par un champ de gravitation est accessible à l'observation ; les rayons lumineux passant au voisinage du Soleil subiront une déflexion.

Après avoir calculé l'ampleur – très faible – de cette déviation il explique comment il serait possible de l'observer, de la mesurer. La trajectoire des rayons lumineux issus des étoiles fixes se trouvera légèrement déviée de la ligne droite si ces rayons passent près d'un corps massif, le Soleil. Mais le phénomène ne peut être mesuré que lors d'une éclipse. Le champ d'étoiles situé autour du Soleil pourra alors être photographié et comparé à son image hors la présence du Soleil.



De son calcul de 1911, Einstein déduit une déviation de 0,83" d'arc. Il sait que cette déviation est « naturelle » dans le cadre newtonien, égale à celle qu'il vient de calculer, une question que Johann Georg von Soldner a d'ailleurs fort bien posée et résolue en 1801 mais dont Einstein n'a pas connaissance. Einstein note que la déviation au bord de Jupiter

serait cent fois plus faible et conclut son article en souhaitant que des astronomes prennent la question en main, ce que fait aussitôt, enthousiaste, Erwin Freundlich, astronome à l'Observatoire de Berlin.

Début septembre 1911, Einstein écrit à Freundlich « Si seulement nous disposions d'une planète plus grosse que Jupiter ! Mais la Nature ne se préoccupe pas de nous faciliter la découverte de ses lois ». Et d'ajouter « on peut dire une chose avec certitude : si une telle déflexion n'existe pas, alors les hypothèses de ma théorie ne sont pas correctes ».

Freundlich croit pouvoir résoudre aisément la question ; les idées ne manquent pas. Il multiplie les contacts afin de convaincre ses collègues de l'intérêt de ces mesures. Il pense pouvoir utiliser les plaques photographiques réalisées lors de précédentes éclipses. Malheureusement ces plaques, destinées à l'étude de la couronne solaire ou à la recherche de planètes intramercuriennes n'étaient pas suffisamment bien définies, en particulier parce que le Soleil n'est pas au centre des plaques, pour que des mesures précises soient possibles. Il faut donc se tourner vers la préparation d'une expédition astronomique sur les lieux d'une éclipse afin de mesurer la déviation.

À Berlin, Freundlich a rencontré Charles D. Perrine, ancien astronome à l'Observatoire Lick et désormais directeur de l'Observatoire argentin de Cordoba. Ainsi Perrine ajoute-t-il au programme des observations de l'éclipse du 10 octobre 1912 au Brésil des mesures de la déviation de la lumière. Pas moins de huit expéditions s'installent sur la ligne de totalité : à Passa Quatro la mission brésilienne que dirige Henrique Morize, directeur de l'Observatoire de Rio de Janeiro, la mission française sous la direction de M. Stephanik, ainsi que la mission britannique avec Charles Davidson, de Greenwich Observatory, un spécialiste très averti de l'observation de ces phénomènes, et Arthur Eddington, de l'Observatoire de Greenwich. Malheureusement, la pluie contrarie les efforts de chacun et en particulier ceux de Perrine qui est le seul ici à tenter des mesures de la déviation.

De son côté, Freundlich cherche des fonds pour la prochaine éclipse totale en Crimée le 21 août 1914. Après le refus de Karl Hermann Struve, directeur de l'Observatoire de Berlin, on obtiendra des fonds de source privée, en particulier de la famille Krupp. Freundlich ne sera pas seul en Crimée, l'Observatoire Lick y ayant envoyé une importante délégation dirigée par son directeur William W. Campbell et à laquelle participe Heber D. Curtis plus précisément

chargé de la mesure de la déviation. Le matériel – il s'agit des objectifs utilisés pour la recherche des planètes intra mercuriennes – est celui de Lick et semble bien adapté à ces clichés.

Hélas, une fois de plus, à Brovary où ils sont installés, la pluie est de la partie. Il semble bien que le lieu d'observation n'ait pas été choisi avec tout le soin désirable. Dans son rapport Campbell note avec dépit que Davidson installé à Minsk n'a pas eu de problème avec le temps et a pu observer l'éclipse. Mais la déviation de la lumière n'était pas au programme de l'expédition anglaise...

Freundlich et ses collègues sont installés à Theodosia, mais un mois après la mort de l'Archiduc Ferdinand l'Autriche-Hongrie envahit la Serbie ; en tant que réservistes de l'armée allemande qui vient de déclarer la guerre à la Russie, ils seront faits prisonniers de guerre.

Le retour à l'observatoire Lick des instruments de Crimée ne se fera pas à temps pour la prochaine éclipse qui sera observée non loin de Lick, le 8 juin 1918, à Goldendale dans l'état de Washington. Ce sont des objectifs de l'Observatoire d'Oakland, moins bien adaptés à cette mission, que Curtis monte en hâte pour Goldendale. Le temps n'est pas merveilleux au moment de l'éclipse ; entre deux nuages, on parvient à obtenir quelques plaques, les premières qui furent spécialement tirées pour la détection de la déviation Einstein. Les mesures ne seront faites qu'en juillet 1919, Curtis étant sous les drapeaux. Qui plus est, ces plaques posent de nombreux problèmes ; les images ne sont pas suffisamment bien définies – probablement à cause d'un montage défectueux rendant le télescope insuffisamment stable durant les clichés – ce dont Curtis et Campbell discuteront longuement, âprement. Des mesures seront faites et refaites dont le résultat n'aura finalement que peu de poids.

Pour Curtis il n'y a pas d'effet... ce dont il était d'ailleurs certain à l'avance. Voilà qui n'était pas pour déplaire à certains astronomes américains, en particulier à George Ellery Hale, le directeur du Mont Wilson, qui lui écrit alors « ses cordiales félicitations » et qui « avoue qu'il est très heureux d'entendre [qu'il] n'a pas trouvé d'effet Einstein ». En fait, c'est la théorie elle-même, tout particulièrement son appareil mathématique, que ces astronomes ne peuvent accepter.

Lorsque Campbell passe à Londres en juillet 1919, les expéditions anglaises sont sur le point de revenir de l'hémisphère sud avec des clichés dont on

attend beaucoup. Et lors d'une réunion de la Royal Astronomical Society, Campbell dira quelques mots, qu'il regrettera ensuite amèrement, sur les résultats de Goldendale : « Ma propre opinion c'est que les résultats du Dr. Curtis excluent l'effet Einstein fort, mais non pas le plus faible que prévoit l'hypothèse originale d'Einstein. » Pour les astronomes de Lick, la relativité générale est réfutée.

Car, fin 1915, Einstein a repris le calcul de la déviation dans le cadre de sa nouvelle théorie, la relativité générale. Et dans cet article fameux, dans lequel il rend compte de l'avance du périhélie de Mercure, il donne aussi la nouvelle valeur de la déviation, l'effet « fort », double de celle de son calcul de 1911.

Eddington y verra trois possibilités : l'effet « fort », vérifiant les prédictions de la relativité générale qu'il soutient, « faible » dit « newtonien », « nul » sans aucune déviation car dans le cadre newtonien on ne suppose que rarement que la lumière soit soumise à la gravité.

La préparation des expéditions de 1919

Eddington tient une place très importante dans l'histoire de l'astrophysique aussi bien que dans celle de la théorie de la gravitation d'Einstein. C'est un homme extrêmement brillant, passionné, extraverti, un vulgarisateur hors-pair, une figure étonnante, remarquable. En 1905 il quitte Cambridge, l'Université de Newton, pour l'Observatoire de Greenwich ; Cambridge, où il reviendra après 1913 enseigner l'astronomie en tant que *Plumian Professor*.

Il est probable que ce soit en 1912, à Passa Quatro, de la bouche de Perrine, qu'Eddington ait entendu parler pour la première fois de cette théorie de la gravitation en voie d'élaboration et de l'effet de déviation de la lumière. En 1916, il est en relation avec Willem De Sitter, professeur d'astronomie à l'Observatoire de Leyden en Hollande, qui publiera, dans les *Monthly Notices de la Royal Astronomical Society*, trois articles de fond sur la relativité générale. Ainsi Eddington était-il fort bien préparé à accueillir les nouveaux travaux d'Einstein. En 1918, il publiera un des premiers ouvrages sur la relativité générale, le *Report*.

Eddington saura convaincre Frank Dyson, le « Royal Astronomer », sceptique au plan théorique mais ouvert aux questions observationnelles ; Dyson est conscient de l'intérêt que représente l'éclipse totale du 29 mai 1919 pour la théorie d'Einstein.

Pour ce qui concerne les mesures de déviation de la lumière au bord du Soleil, la richesse du champ d'étoiles sur lequel se projette le Soleil éclipsé est d'une importance capitale. Il s'agit de réaliser deux séries de plaques du champ d'étoiles autour du Soleil, la première durant l'éclipse, la seconde, de nuit avant ou après l'éclipse, et dans des conditions aussi proches que possible de la première série. Ainsi pourra-t-on superposer les deux séries de plaques et mesurer le décalage (si tant est qu'il en existe un) de la position de chaque étoile du champ entre les deux séries de clichés.

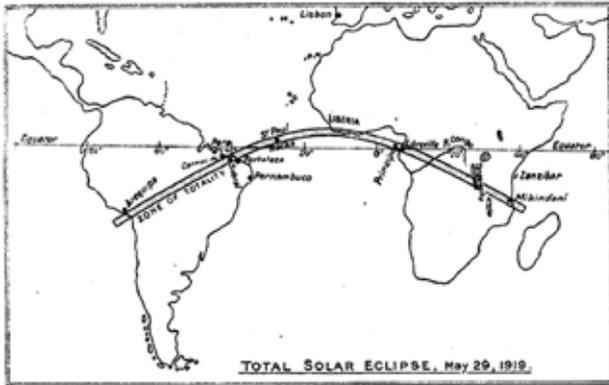
Évidemment ce décalage sera d'autant plus important que la position de l'étoile en question sera plus proche du bord du disque du Soleil, du limbe. Bien entendu, plus il y aura d'étoiles proches, plus elles seront brillantes, mieux elles seront réparties tout autour du Soleil, plus précises seront les mesures.

Tel était précisément le cas de l'éclipse totale de 1919 alors que le Soleil traverse les Hyades qui rassemblent un grand nombre d'étoiles brillantes, une rare opportunité dont Dyson et Eddington étaient conscients.

Devant le comité, réuni en novembre 1917, le Royal Astronomer remarqua que des occasions si favorables étaient très rares car il n'y aura pas d'éclipse aussi propice avant de nombreuses années. Le comité proposa, d'entrée de jeu, d'envoyer deux expéditions distinctes. Ce n'était certainement pas là une décision ordinaire, car on était en pleine guerre et il est exceptionnel qu'un même pays envoie deux expéditions parallèles pour réaliser une seule et même observation. Il ne fut pas même question de faire les observations habituelles, de la couronne solaire ou spectroscopiques. Ainsi faut-il voir là, derrière cette décision extrêmement forte de politique scientifique, la conviction d'Eddington et l'autorité de Dyson quant à l'importance de l'enjeu.

Le choix des lieux d'observation est essentiel ; il fallait avant tout éviter les nuages et la pluie, ennemis des astronomes ; mais la qualité des clichés dépendra de l'ampleur de la réfraction atmosphérique et donc de la hauteur du Soleil sur l'horizon.

Le chemin de l'éclipse traversant l'Afrique, l'Atlantique, le continent sud-américain, une première expédition composée d'Eddington et de Cottingham s'établira sur l'île de Principe proche des côtes africaines, l'autre, composée de Davidson et de A.C.D. Crommelin, à Sobral, une petite localité dans le Nord-Est du Brésil.



*Le chemin de l'éclipse de mai 1919
(d'après A. C. D. Crommelin 1919).*

Le choix des instruments était évidemment d'une importance extrême. L'équipe de Cambridge (Eddington et Cottingham) utilisera à Principe la lunette astrographe d'Oxford tandis que l'équipe de Greenwich (Davidson et Crommelin) à Sobral celle de Greenwich. On utilisera aussi la lunette de 4 inch, utilisée en Suède lors d'une éclipse précédente, ainsi que le cœlostat appartenant à la Royal Irish Society. Il semblait en effet préférable de choisir, pour ces expéditions, une lunette fixe associée à un cœlostat, un miroir muni d'un mécanisme dont la fonction est de suivre le Soleil afin de réfléchir sa lumière dans la lunette où l'éclipse serait calmement photographiée.

Les raisons de la participation d'Eddington à l'expédition n'étaient pas seulement scientifiques. Eddington était un quaker dévot et en tant que tel objecteur de conscience affirmé ce que nul n'ignorait. Dans ces temps difficiles, il était fort mal vu de ne pas vouloir aller au front et les professeurs de Cambridge, en particulier Sir Joseph Larmor, se seraient sentis déshonorés si l'un de leurs distingués collègues s'était déclaré objecteur de conscience. Il était hors de question de convaincre Eddington, ni de le mettre en cause. Ainsi tentèrent-ils d'intervenir auprès du Home Office afin d'obtenir un sursis d'incorporation pour Eddington en arguant du fait qu'il n'était pas de l'intérêt bien compris de l'Angleterre d'envoyer un scientifique aussi distingué sur le front.

C'était compter sans Eddington auquel on demanda de signer une lettre ad-hoc ; à laquelle il voulut ajouter un post-scriptum dans lequel il mentionnait que s'il n'était pas appelé sous les drapeaux, il réclamerait de toute manière son statut d'objecteur. Allait-on envoyer Eddington peler des patates dans un camp ? Tel aurait dû être son destin, parallèle à celui de ses amis quakers. L'intervention de Dyson auprès de l'Amirauté permit de résoudre ce problème avec diplomatie. Il fut décidé d'accorder à Eddington un sursis d'incorporation avec la stipulation expresse

que si la guerre avait pris fin en 1919, il conduirait l'une des expéditions.

L'éclipse de 1919

On s'embarque à Liverpool le 8 mars 1919 pour un voyage qui allait durer six mois. À Madère, les deux expéditions se séparent, Eddington et Cottingham vers Principe, tandis que Davidson et Crommelin seront à pied d'œuvre à Sobral dans l'État du Ceará le 30 avril.

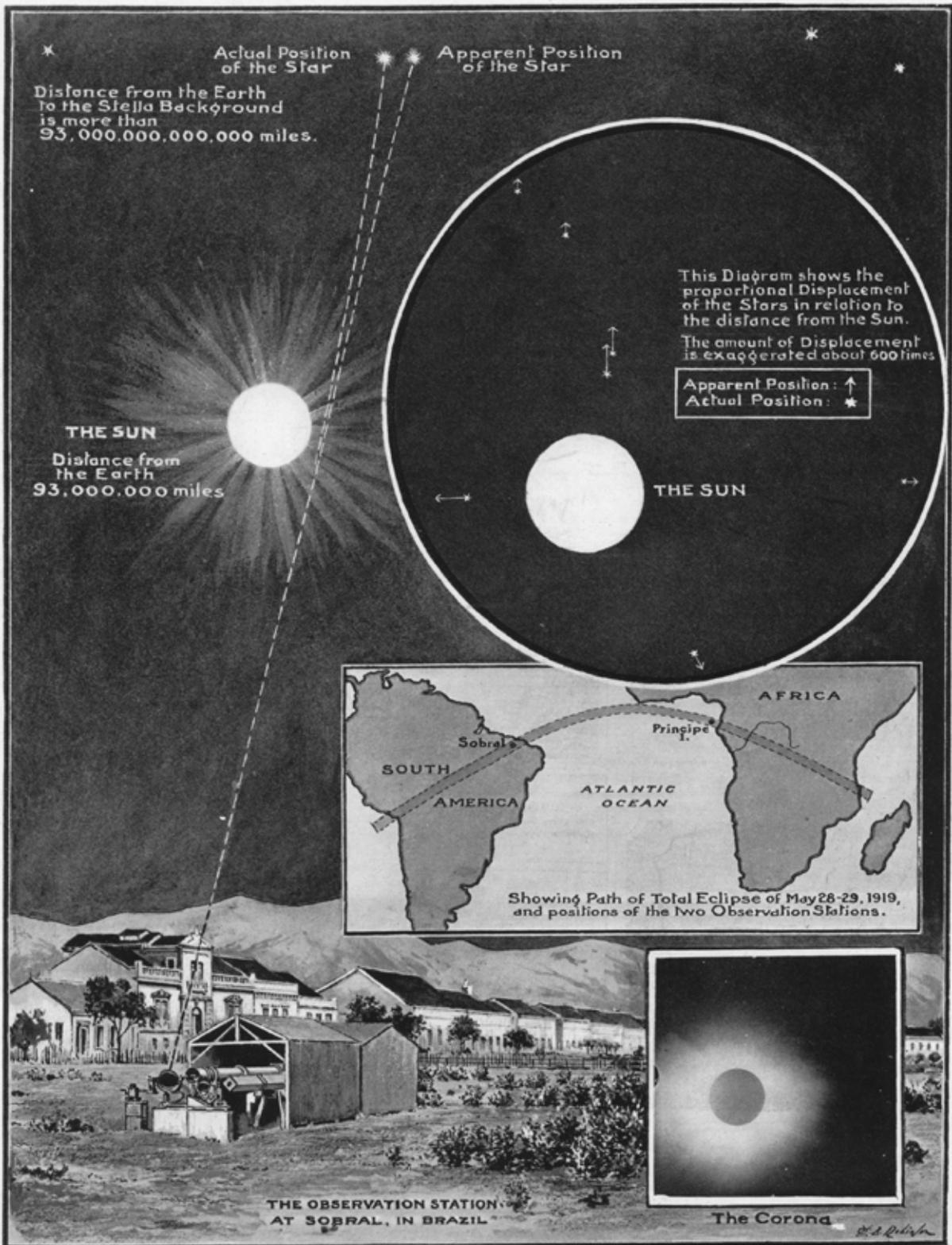
Au Brésil, à Sobral « le jour de l'éclipse commença fort mal, la proportion de nuages tôt le matin étant environ de 9/10 », écrit Crommelin, qui ajoute « qu'un grand trou clair se fit dans les nuages et atteignit les alentours du Soleil juste à temps, et pendant quatre des cinq minutes de la totalité, le ciel autour du Soleil était à peu près clair ».

En Afrique, à Principe, Eddington et Cottingham n'ont pas cette chance ; dès le matin de l'éclipse, un orage inquiéta nos astronomes et c'est à travers des nuages persistants que les photos furent prises. À Sobral, Crommelin câblait à Londres : « Eclipse splendid », tandis qu'à Principe Eddington se contentait d'un « Trough Cloud. Hopeful ». Seules deux plaques de l'astrographe de Principe seront utilisables ; encore ne laissent-elles apparaître que peu d'étoiles. À Sobral, on se réjouit des plaques du 4-inch qui montrent 7 étoiles et sont qualifiées de satisfaisantes à excellentes, tandis que celles de l'astrographe vont décevoir car les clichés sont quelque peu diffus. La mise au point de l'astrographe ne semble pas avoir tenu durant l'éclipse, sans doute à cause de la distorsion des images sur le miroir du cœlostat liée à la chute de température au moment même de l'éclipse.

Chacun plie bagages ; Davidson et Crommelin remonteront à Sobral quelques jours plus tard pour prendre in situ les plaques de comparaison (du même champ d'étoiles que durant l'éclipse, mais en l'absence du Soleil). Pour le 4-inch, vu que l'on a pu prendre des plaques très grandes qu'il ne sera pas possible de mesurer avec le micromètre de l'Observatoire Royal, on a l'idée d'inverser les plaques de comparaison afin que les mesures puissent être faites « plaque contre plaque », c'est là une nouvelle technique. À Principe, pour des raisons matérielles, on devra réaliser les plaques de comparaison au retour à Greenwich, ce qui peut poser de petits problèmes supplémentaires liés au réglage des instruments.

"STARLIGHT BENT BY THE SUN'S ATTRACTION": THE EINSTEIN THEORY.

DRAWN BY W. B. ROBINSON, FROM MATERIAL SUPPLIED BY DR. CROMMELIN.



THE CURVATURE OF LIGHT: EVIDENCE FROM BRITISH OBSERVERS' PHOTOGRAPHS AT THE ECLIPSE OF THE SUN.

The results obtained by the British expeditions to observe the total eclipse of the sun last May verified Professor Einstein's theory that light is subject to gravitation. Writing in our issue of November 15, Dr. A. C. Crommelin, one of the British observers, said: "The eclipse was specially favourable for the purpose, there being no fewer than twelve fairly bright stars near the limb of the sun. The process of observation consisted in taking photographs of these stars during totality, and comparing them with other plates of the

same region taken when the sun was not in the neighbourhood. Then if the starlight is bent by the sun's attraction, the stars on the eclipse plates would seem to be pushed outward compared with those on the other plates. . . . The second Sobral camera and the one used at Principe agree in supporting (Einstein's theory). . . . It is of profound philosophical interest. Straight lines in Einstein's space cannot exist; they are parts of gigantic curves."—[Drawing Copyrighted in the United States and Canada.]