Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 29 (1947)

Artikel: La constance de la vitesse de la lumière et ses vérifications
Autor: Sivadjian, Joseph
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-742264

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: 08.08.2025

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

LA CONSTANCE DE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

ET SES VÉRIFICATIONS

PAR

Joseph SIVADJIAN

(Avec 1 fig.)

Nous savons que le postulat d'Einstein sur la constance de la vitesse de la lumière dans le vide comporte deux hypothèses bien distinctes, à savoir l'indépendance de la vitesse de la lumière de celle de sa source et l'indépendance aussi de cette même vitesse de la vitesse du récepteur. Tolman [1] souligne la dualité des hypothèses cachées dans ce fameux second postulat de la relativité en faisant remarquer qu'il est obtenu en combinant le premier postulat de la relativité avec le principe que la vitesse de la lumière est indépendante de la vitesse de la source. Ce principe est d'ailleurs clairement formulé par Fresnel dans sa lettre à Arago, où il déclare que « la vitesse avec laquelle se propagent les ondes est indépendante du mouvement du corps dont elles émanent [2] ».

Malgré le caractère complexe de ce postulat qui, pour être prouvé, a besoin de deux confirmations distinctes de ses deux hypothèses, quelques auteurs ont cru pouvoir apporter la

[1] R. C. Tolman, *Phys. Rev.*, t. 31, 1910, p. 26.
[2] *Ann. Chim. Phys.*, [2], t. 9, 1818, p. 58.

vérification expérimentale du second postulat d'Einstein. Mais, ainsi que nous le verrons plus loin, toutes ces expériences ou ces observations, pour autant que leurs conclusions soient recevables, ne peuvent servir qu'à prouver une chose, à savoir l'indépendance ou la dépendance de la vitesse de la lumière de celle de sa source, c'est-à-dire la validité ou la non-validité du principe formulé par Fresnel et nullement la constance absolue de cette vitesse au sens de la relativité.

C'est Comstock [1 2] et, après lui, Castelnuovo [3] qui, les premiers, ont attiré l'attention sur l'importance des étoiles doubles au point de vue de la vérification de ce principe, en faisant remarquer que si la vitesse de la lumière dépend de celle de sa source comme la vitesse du boulet dépend de celle du canon, ce fait doit se manifester, en particulier pour les étoiles doubles spectroscopiques, par la constatation de certaines irrégularités, soit dans les mouvements de ces astres sur leurs orbites [1 3], soit dans leurs aspects spectroscopiques [2]. De Sitter consacra à ce problème une étude bien plus précise. En effet, d'après cet auteur, si l'on admet que la vitesse de la source s'ajoute à celle de la lumière qu'elle émet, alors les rayons émis à des moments différents dans une même direction par une source animée d'un mouvement varié auront en général des vitesses différentes. Supposons par exemple que cette source soit une étoile qui décrit une certaine orbite autour d'un centre. Les rayons émis par cette étoile à un moment donné tendront alors à se rapprocher de plus en plus à d'autres rayons émis antérieurement ou, en revanche, s'en écarteront davantage; et si la distance qui sépare l'étoile de l'observateur est suffisamment grande, les rayons partis postérieurement à d'autres les rattraperont et même les dépasseront avant de parvenir à l'observateur. Si bien que l'étoile sera aperçue alors simultanément en différents points de son orbite, car les rayons lumineux vont donner naissance à plusieurs images qui se déplaceront, les unes dans le même sens que l'étoile et les

[1] D. F. Comstock, *Astrophys. J.*, t. 31, 1910, p. 364.
[2] D. F. Comstock, *Phys. Rev.*, t. 30, 1910, p. 267.
[3] G. Castelnuovo, *Scientia*, t. 9, 1911, p. 51, 59.

autres dans le sens contraire. En d'autres termes et en ne considérant que le cas le plus simple, l'étoile, au lieu de paraître décrire d'une façon normale son orbite d'un mouvement continu, se présentera sous forme de deux nouvelles étoiles surgissant soudain d'un même point situé en avant de sa trajectoire. Ces deux nouvelles étoiles se déplaceront sur l'orbite en sens contraires; l'une d'elles ira au-devant de l'étoile primitive et s'évanouira avec celle-ci dès qu'elle l'aura rencontrée et l'autre, qui aura remplacé l'étoile primitive, continuera de parcourir l'orbite et ces mêmes phénomènes vont se répéter d'une façon continue. Si l'on envisage un cas plus complexe, c'est-à-dire celui d'un observateur qui étudie les mouvements du même astre d'une distance encore bien considérable, cet observateur, au lieu d'apercevoir tantôt une, tantôt trois images de l'étoile, en verra toujours plusieurs, dont l'apparition et la disparition auront lieu par couples de la manière que nous venons de décrire [1].

W. de Sitter [2] examinant soigneusement ces conséquences de la théorie de l'émission, fit remarquer que l'observation minutieuse des mouvements des étoiles doubles ne permettait pas une telle conclusion et que, par conséquent, la théorie de l'émission ne pouvait pas être défendue.

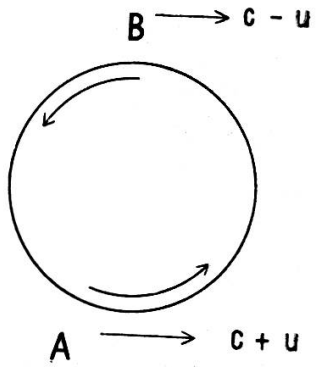
En effet, les phénomènes signalés ci-dessus n'étant jamais observés et, en revanche, l'étude précise d'une catégorie d'étoiles doubles, dites télescopiques, ayant montré que leurs composantes, dans leurs mouvements autour de leur compagnon, obéissent aux lois de Kepler, il en conclut que ces constatations ne peuvent pas se concilier avec l'hypothèse balistique de la lumière, d'après laquelle la vitesse de celle-ci dépendrait de la vitesse de la source.

Supposons, dit-il, une étoile double et un observateur à une très grande distance d dans le plan de l'orbite. Si la vitesse de la source s'ajoute à celle de la lumière, u étant la vitesse de la composante brillante de l'étoile double, les ondes émises par

[1] W. Rivier, *Revue gén. Sc.*, t. 37, 1926, p. 566.

[2] W. de Sitter, *Phys. Z.*, t. 14, 1913, p. 429, 1267; *Proceed. Royal Acad. Amsterdam*, t. 15, 1913, p. 1297.

l'étoile au point A seront observées après un temps $\frac{d}{c+u}$; celles émises en B, après un temps $\frac{d}{c-u}$.



Appelons T la demi-période de translation de l'étoile, dont l'orbite est, pour simplifier, supposée circulaire. L'intervalle de temps qui s'écoulera entre les deux observations de l'étoile en A et en B est $T + \frac{2ud}{c^2}$; si l'étoile passe dans la seconde moitié de la période, de B en A, l'intervalle de temps observé est $T - \frac{2ud}{c^2}$. Dans la théorie classique de la lumière au contraire les deux intervalles sont égaux à T. Si donc $\frac{2ud}{c^2}$ était du même ordre de grandeur que T et que la vitesse de la lumière dépendait de la vitesse de sa source, il eût été impossible de mettre en accord ces observations avec la loi de Kepler. Or, fait remarquer de Sitter, pour toutes les étoiles doubles spectroscopiques, effectivement $\frac{2ud}{c^2}$ est non seulement du même ordre de grandeur que T, mais probablement et, dans la majorité des cas, plus grand que T. L'existence des étoiles doubles spectroscopiques et la condition que dans le très grand nombre des cas la vitesse radiale observée peut être parfaitement représentée par les lois de Kepler, est donc, conclut-il, une solide preuve en faveur de la constance de la vitesse de la lumière. En effet, s'il n'en était pas ainsi, pour les rayons provenant de B, qui se propagent avec la vitesse $c - u$ par rapport à l'observateur, on aurait pour l'intervalle de temps $T - \frac{2ud}{c^2} = 0$, si $\frac{2ud}{c^2}$ était du même ordre de grandeur que T et même une valeur négative si $\frac{2ud}{c^2} > T$. Ces rayons se superposeraient et finalement se mélangeraient avec les rayons provenant de A, qui cheminent avec la vitesse $c + u$, d'où il serait impossible de distinguer les différentes positions de l'étoile sur son orbite et les séparer dans le temps, ce qui n'a jamais été le cas.

Quoiqu'il en soit, l'auteur, en formulant sa conclusion,

aurait dû dire que cette observation constitue une preuve en faveur de l'indépendance de la vitesse de la lumière de celle de la source et non pas de la constance de cette vitesse, les deux conclusions n'étant nullement équivalentes.

Même ramenée ainsi à sa vraie signification, cette conclusion ne résiste d'ailleurs pas à un examen quelque peu approfondi, ainsi que l'ont montré La Rosa [1] et Tiercy [2].

La Rosa a constaté à ce propos que le résultat de cette observation peut même se retourner en faveur de l'hypothèse balistique; il a fait remarquer en effet que, dans le cas des étoiles doubles spectroscopiques, les éléments dont dépendent les perturbations signalées dans le mouvement apparent d'une étoile ont des valeurs relativement faibles; que les mouvements apparents des composantes de ces étoiles ne peuvent donc pas différer sensiblement de leurs mouvements vrais et que, par conséquent, l'hypothèse balistique de l'addition des vitesses de la source et de la lumière n'est nullement incompatible avec la régularité des mouvements des étoiles doubles qui suivent exactement les lois de Kepler.

En revanche, par suite de l'inégalité des vitesses des rayons émis par une étoile, qui possède un mouvement périodique par rapport à un observateur, la lumière émise par une telle étoile pendant des intervalles de temps égaux arrivera à l'observateur à des intervalles de temps inégaux, cette inégalité augmentant avec la distance de l'astre à l'observateur. Par conséquent l'intensité de l'éclat de l'étoile paraîtra à celui-ci comme celle d'une étoile variable, même si la lumière émise possède une intensité constante. Ces variations de l'éclat seront dues à l'inégalité qui existera entre la quantité de lumière reçue dans le même intervalle de temps par l'observateur. C'est ainsi que La Rosa a essayé d'expliquer l'existence des étoiles variables

[1] M. La Rosa, *Z. Phys.*, t. 21, 1924, p. 333; *Nature*, t. 114, 1924, p. 933; *C. R. Acad. Sc.*, t. 180, 1925, p. 1738; *Physik. Z.*, t. 13, 1912, p. 1129; *Astronom. Nachr.*, t. 221, 1924, p. 249.

[2] G. Tiercy, *Bull. Astr.*, t. 12, 1940, p. 75-88; *Arch. Sc. Phys. Nat.*, t. 23, 1941, p. 1; *ibidem*, t. 24, 1942, p. 45; *Experientia*, t. 1, 1945, p. 127.; *Arch. Sc. Phys. Nat.*, t. 24, 1942, p. 25.

et leur existence même a été considérée par lui comme une preuve en faveur de la théorie de l'émission.

De Sitter admet que cette remarque de La Rosa est judicieuse; il estime toutefois que l'influence signalée par lui sur la magnitude de l'étoile est bien trop faible, et même négligeable.

Cet auteur [1], ainsi que Zurhellen [2] et Thirring [3] font remarquer en outre que, si l'existence des étoiles variables était due à la variation de la vitesse de la lumière par suite du mouvement de l'astre, alors les modifications de la grandeur apparente devraient être accompagnées de déplacements bien plus importants des lignes spectrales, dus à l'effet Doppler, qu'il n'a été constaté jusqu'ici, ce qui, dans le cas positif, constituerait d'après Zurhellen, un criterium décisif pour trancher le débat. Car, selon de Sitter, l'effet photométrique, c'est-à-dire les variations de l'éclat et l'effet Doppler doivent dépendre de la même cause d'une façon identique.

Toutefois, Salet [4], en faisant les calculs nécessaires dans le cas des étoiles du type Algol, a conclu que la vitesse de la lumière n'est pas altérée de plus de 1/200 de celle de la source. Cette vitesse, qui ne dépend pas de la longueur d'onde, n'est pas influencée non plus par l'attraction de la source; elle serait supérieure en moyenne de 0,008 environ à celle que l'on observe à la surface de la Terre et les valeurs trouvées diffèrent suivant le type spectral de l'étoile [5].

Freundlich [6] et Guthnick [7] ont émis l'idée que la vitesse de la lumière pouvait dépendre de la vitesse de sa source d'une manière différente de celle d'une simple addition que supposent les théories émissives. L'hypothèse la plus simple serait, selon eux, d'admettre $v = c + ku$, où v est la vitesse de la lumière

[1] W. de Sitter, *Proceed. Royal Acad. Amsterdam*, t. 27, 1924, p. 291; *Bull .of the astronom. Institutes of the Netherlands*, t. 2, 1924, p. 163; 121.

[2] H. Zurhellen, *Astronomische Nachr.*, t. 197, 1914, p. 1.

[3] H. Thirring, *Zeitschr. für Physik*, t. 31, 1925, p. 133.

[4] P. Salet, *C. R. Acad. Sc.*, t. 180, 1925, p. 647; *ibidem*, t. 183, 1926, p. 1263; t. 188, 1929, p. 387, 1539; *Bull. de l'Observatoire de Lyon*, t. 9, 1927, p. 81.

[5] P. Salet, *C. R. Acad. Sc.*, t. 198, 1934, p. 904.

[6] E. Freundlich, *Physikal Zeitschr.*, t. 14, 1913, p. 835.

[7] P. Guthnick, *Astronom. Nachr.*, t. 195, 1912, p. 265.

émise par une source ayant la vitesse u. Il ne s'agirait donc pas, dans cette hypothèse, de savoir si k est égal à 0 ou à 1, mais de lui assigner une limite supérieure, limite que de Sitter [1] estime inférieure à 0,002.

Shah Sulaiman [2] et Smith [3] au contraire sont d'avis qu'en mesurant tout simplement la vitesse de la lumière venant des étoiles à l'aide de la cellule de Kerr, utilisée déjà par Anderson [4] et Mittelstaedt [5] dans le même but pour des sources terrestres, on serait à même de savoir s'il y avait variation de la vitesse et de constater en somme si le postulat de la relativité se vérifiait.

Dans toutes ces tentatives faites en vue d'apporter la preuve de l'exactitude du postulat d'Einstein sur la constance de la vitesse de la lumière, on voit qu'il n'est question que de preuves relatives à l'influence possible du mouvement de la source sur la vitesse de la lumière qui en émane, question dont la solution ne saurait apporter aucune confirmation en faveur des théories d'Einstein, vu que, comme nous l'avons fait remarquer au début, l'hypothèse de l'indépendance du mouvement des rayons de celui de leur source, déjà exprimée nettement par Fresnel, n'a rien à voir avec le postulat d'Einstein qui stipule catégoriquement l'indépendance de la vitesse de la lumière du mouvement du récepteur et c'est cette dernière condition qui constitue l'hypothèse vraiment caractéristique de la relativité. Pour prouver celle-ci, il eût fallu démontrer que le mouvement du récepteur n'apporte aucun trouble dans la durée de transmission d'un signal lumineux. Or, nous avons signalé [6] bien au contraire un fait astronomique qui, étudié avec soin et précision, pourrait démontrer que la vitesse de la lumière ne peut pas conserver constamment la valeur invariable c par rapport à un récepteur, quels que soient la vitesse et le régime des mou-

[1] W. de Sitter, *Proceed. Royal Acad. Amsterdam*, t. 16, 1913, p. 395.

[2] Shah Sulaiman, *Nature*, t. 142, 1938, p. 802; *Proceed. Nation. Acad. Sc. India*, t. 7, 1937, p. 85.

[3] F. H. C. Smith, *Nature*, t. 142, 1938, p. 40.

[4] W. C. Anderson, *Rev. Scientif. Instrum.*, t. 8, 1937, p. 239.

[5] O. Mittelstaedt, *Ann. Phys.*, (5), t. 2, 1929, p. 285.

[6] J. Sivadjian, *Revue gén. des Sciences*, t. 51, 1940-41, p. 187.

vements de celui-ci relativement au rayon de lumière. Il s'agit en l'espèce du retard des éclipses des satellites de Jupiter. Ainsi, le principe de la preuve astronomique tant cherchée du postulat de la relativité se trouverait déjà exister dès 1676 dans cette vieille observation de Römer, si l'on défalque l'effet du premier ordre dû à la variation des distances satellite-terre que l'astronomie moderne doit pouvoir évaluer avec une précision suffisante.

Après avoir posé à la base de la théorie de la relativité restreinte le principe de la constance de la vitesse de la lumière, Einstein voulut étendre sa théorie à l'ensemble des mouvements, au lieu de la restreindre uniquement aux mouvements rectilignes et uniformes. Ainsi a pris naissance la théorie de la relativité générale qui s'applique aux mouvements qui ont lieu dans un champ de gravitation. Mais dès que Einstein eut tenté cette généralisation de sa théorie, il fut obligé de restreindre son fameux principe de la constance de la vitesse de la lumière; car il fut dès lors évident que cette vitesse doit dépendre du potentiel de gravitation du lieu considéré.

« Si nous appelons c_0 la vitesse de la lumière à l'origine du système des coordonnées, la vitesse c de la lumière dans un lieu dont le potentiel de gravitation est Φ, doit être donnée par la relation

$$c = c_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2}\right).$$

« D'après cette théorie, le principe de la constance de la vitesse de la lumière ne doit plus être conçu dans le même sens qu'il a dans la théorie ordinaire de la relativité.

« Du principe démontré tout à l'heure, d'après lequel la vitesse de la lumière dans un champ de gravitation est fonction du lieu, on conclut facilement au moyen du principe de Huygens qu'un rayon de lumière qui se propage obliquement dans un champ de gravitation doit subir une incurvation [1]. »

M. Abraham fit remarquer à Einstein qu'avec cette nouvelle hypothèse — dépendance de la vitesse de la lumière à l'égard du

[1] A. Einstein, *Ann. der Physik*, t. 35, 1911, p. 898.

potentiel de gravitation — il a mis la hache à l'une des racines de la théorie de la relativité qu'il avait établie précédemment [1] [2] et qu'ainsi « toute théorie de la relativité échoue sur l'écueil de la pesanteur, aussi bien la théorie spéciale de 1905 que la théorie générale de 1913 [3]. »

« Au contraire, je suis de l'avis que — lui répliqua Einstein —, le principe de la constance de la vitesse de la lumière ne s'applique que dans le domaine du temps et de l'espace où le potentiel de gravitation est constant. C'est là que se trouve, d'après moi, la limite de la validité, non pas du principe de la relativité, mais de celui de la constance de la vitesse de la lumière et, partant, de notre théorie de la relativité d'aujourd'hui. Cette idée m'est suggérée par les considérations suivantes: l'un des résultats les plus importants de la théorie de la relativité est d'avoir reconnu qu'à toute énergie E correspond une inertie qui lui est proportionnelle (E/c^2). Et comme toute masse inerte est en même temps une masse pesante, autant que notre expérience le montre, à chaque énergie E nous pouvons attribuer aussi une masse pesante E/c^2, d'où il suit aussitôt que la pesanteur agit sur un corps en mouvement avec plus d'intensité que sur le même corps au repos [4]. »

« ...d'après la théorie de la relativité généralisée la loi énoncée plusieurs fois déjà de la constance de la vitesse de la lumière dans le vide, qui constitue une des deux hypothèses fondamentales de la théorie de la relativité restreinte, ne peut prétendre à une exactitude sans limite; en effet les rayons lumineux ne peuvent être curvilignes que si la vitesse de propagation de la lumière varie avec le lieu. On pourrait penser que cette conséquence renverse la théorie de la relativité restreinte et, en général, la théorie de la relativité. En réalité, il n'en est pas ainsi. On peut seulement en conclure que la théorie de la rela-

[1] M. Abraham, *Scientia*, t. 15, 1914, p. 8; *ibidem*, *suppl. franç.*, p. 23; *Revue gén. des Sc.*, t. 25, 1914, p. 286.

[2] A. Einstein, *Ann. der Physik*, t. 38, 1912, p. 355.

[3] M. Abraham, *Scientia*, *suppl. franç.* t. 15, 1914, p. 28; *ibidem*, t. 16, 1914, p. 101; *Ann. der Physik*, t. 38, 1912, p. 1056; *Ann. der Physik*, t. 39, 1912, p. 444.

[4] A. Einstein, *Ann. der Physik*, t. 38, 1912, p. 1062.

tivité restreinte ne peut prétendre à un domaine de vérité sans limites; ses résultats ne sont valables que tant que l'on peut négliger les influences des champs de gravitation sur les phénomènes (par exemple sur la lumière) [1]. »

Ainsi, d'après la théorie de la relativité généralisée, le rayon de la lumière doit s'incurver dès qu'il se trouve soumis à l'influence d'un champ de gravitation. Un astre, dont la lumière nous vient en rasant le bord du soleil, doit donc paraître dévié de sa position réelle.

Ainsi que dans le cas du principe de la constance de la vitesse de la lumière, ici également les tentatives de vérification par des observations astronomiques ne manquèrent pas de se multiplier et, malgré les résultats peu convaincants de ces observations et les critiques dont elles ont été l'objet, la plupart des partisans de la relativité considèrent ces résultats comme définitivement acquis et favorables aux vues d'Einstein. Dans son premier mémoire de 1911 [2] Einstein évaluait la valeur de la déviation à 0″83 secondes d'arc. En 1916 [3], après avoir revisé sa théorie et ses calculs, il trouva une déviation de 1″74 secondes d'arc. Or, les auteurs qui ont, les premiers, observé cet « effet Einstein », ont trouvé une déviation radiale, par rapport au soleil, inversement proportionnelle à la distance apparente de l'étoile au centre du soleil, et dont la valeur (1″75 ± 0″09) s'accordait parfaitement avec celle prévue par Einstein [4 5 6 7 8 9]. D'autres observateurs ont enregistré un dé-

[1] *La Théorie de la Relativité restreinte et généralisée (Mise à la portée de tout le monde)*, par A. Einstein, trad. J. Rouvière, Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921, II Partie, Ch. XXII, p. 65-66.

[2] A. Einstein, *Ueber den Einfluss u. s. w. Ibidem.*

[3] A. Einstein, *Ann. der Physik*, t. 49, 1916, p. 769.

[4] W. W. Campbell et R. J. Trumpler, *Lick Obs. Bull.*, t. 13, 1928, p. 130.

[5] A. C. D. Crommelin, *Nature*, t. 110, 1922, p. 389, 457.

[6] F. W. Dyson, A. S. Eddington et C. Davidson, *Ann. Rep. Smithson. Inst.*, 1919, p. 133; *Phil. Trans. Roy. Soc., London*, Série A, t. 220, 1920, p. 291.

[7] C. Davidson, *The Observ.*, t. 45, 1922, p. 224; t. 43, 1920, p. 45.

[8] L. A. Bauer, *Phys. Rev.*, t. 15, 1920, p. 333.

[9] L. A. Bauer et W. J. Peters, *Phys. Rev.*, t. 15, 1920, p. 527.

placement moyen de 1″74, en très bon accord également avec la valeur calculée [1 2 3].

Freundlich et ses collaborateurs [4 5] ont repris à Takengon (Nord Sumatra) les mesures de la déviation à l'occasion de l'éclipse solaire du 9 mai 1929, et, en discutant les observations réalisées au cours de cette éclipse et des éclipses précédentes, ils ont trouvé que les résultats de ces observations conduisent, d'une manière concordante, pour la déviation au bord solaire, au chiffre de 2″20. Il y a par conséquent une déviation, mais elle est sensiblement supérieure à celle qu'indique la théorie d'Einstein [6 7 8 9 10 11].

Reprenant la discussion des mêmes observations sous une forme géométrique et plus simple, Danjon [12 13] trouva des résultats également concordants, conduisant, pour la même déviation, au chiffre, peu différent, de 2″05.

En présence de ces résultats, de nombreux auteurs particulièrement compétents [14 15 16 17 18] estiment que ces observations

[1] H. S. Jones, *The Observ.*, t. 46, 1923, p. 164.
[2] A. C. D. Crommelin, *Nature*, t. 111, 1923, p. 541.
[3] E. B. Frost, *Astrophys. J.*, t. 58, 1923, p. 263.
[4] E. Freundlich, H. v. Kluber und A. v. Brunn, *Z. für Astrophys.*, t. 3, 1931, p. 171.
[5] E. Freundlich und A. v. Brunn, *Z. für Astrophys.*, t. 6, 1933, p. 218.
[6] E. F. Freundlich and W. Ledermann, *Monthly Notices of the Roy. astronom. Soc.*, t. 104, 1944, p. 40.
[7] V. V. Narlikar, *Nature*, t. 154, 1944, p. 400.
[8] T. Matukuma, Ohuri, Yosida at Iwana, *Japan. j. Astron. Geophys.*, t. 18, 1940, p. 51.
[9] T. Matukuma, *Nature*, t. 146, 1940, p. 264.
[10] J. Hopmann, *Physikal. Zeitschr.*, t. 24, 1923, p. 476.
[11] W. W. Campbell, *Lick Observ. Bull.*, 1923, p. 33.
[12] A. Danjon, *C. R. Acad. Sc.*, t. 194, 1932, p. 252.
[13] A. Danjon, *J. de Physique*, t. 3, 1932, p. 281.
[14] E. Esclangon, *C. R. Acad. Sc.*, t. 194, 1932, p. 254; *C. R. Acad. Sc.*, t. 178, 1924, p. 196; *Les preuves astronomiques de la Relativité*, Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1922, p. 18.
[15] F. Croze, *J. de Physique*, t. 2, 1931, p. 50 S; *Revue gén. des Sciences*, t. 37, 1926, p. 394.
[16] Jean Chazy, *La Théorie de la relativité et de la Mécanique céleste*, Paris, Gauthier-Villars et Cie., t. 1, 1928, Ch. VI, p. 255.
[17] Georges Tiercy, *La théorie de la relativité dite générale et les observations astronomiques*, Genève, 1939, § 5, p. 36.
[18] P. Salet, *L'Astronomie*, t. 38, 1924, p. 10.

ne confirment, ni n'infirment la loi de déviation d'Einstein; elles semblent indiquer seulement l'existence de déviation au voisinage du soleil, sans qu'on puisse en fixer la loi, ni la valeur exacte au bord même du soleil. Poor [1] fait d'ailleurs remarquer que dans aucun cas les mesures n'ont comporté un contrôle suffisant des différentes causes d'erreur (température des appareils, perturbations atmosphériques, etc.) et la discussion des résultats n'a jamais été assez poussée pour fournir une vérification de la théorie. Cet auteur s'étonne en outre que l'effet de la gravitation sur la vitesse de la lumière se traduise par un ralentissement et que cette vitesse diminue au fur et à mesure que le rayon se rapproche du soleil, tandis que c'est tout le contraire qui se passe dans le cas de la matière, dont la vitesse augmente sous l'action du champ gravifique proportionnellement à la diminution de la distance entre les deux masses attirantes.

Admettons que la déviation de la lumière dans un champ de gravitation soit vérifiée par ces observations. Nous avons vu aussi qu'on considérait comme définitivement prouvée par des observations également astronomiques l'indépendance du mouvement de la lumière de celui de sa source. Or, ces deux vérifications sont contradictoires et absolument incompatibles entre elles.

En effet, comme nous l'avons vu, selon Einstein, « l'un des résultats les plus importants de la théorie de la relativité est d'avoir reconnu qu'à toute énergie E correspond une inertie qui lui est proportionnelle » (voir p. 363). « Un rayon de lumière transporte de l'énergie et celle-ci a une masse. Mais toute masse inerte est attirée par le champ de gravitation, étant donné que la masse inerte et la masse pesante sont équivalentes. Un rayon de lumière s'incurvera dans un champ de gravitation, exactement comme le ferait un corps lancé horizontalement avec une vitesse égale à celle de la lumière [2]. » Mais, comme, selon les propres

[1] C. L. Poor, *J. opt. Soc. Amer.*, t. 20, 1930, p. 173.

[2] Albert Einstein et Leopold Infeld, *L'Evolution des Idées en Physique des premiers concepts aux théories de la relativité et des quanta*, traduit de l'anglais par Maurice Solovine, Flammarion, éditeur, Paris, 1939, Ch. III, p. 218.

termes mêmes d'Einstein, toute masse inerte est en même temps une masse pesante, c'est-à-dire encore que, comme la masse inerte et la masse pesante sont équivalentes, si un rayon de lumière, à cause de sa masse pesante, s'incurve dans un champ de gravitation exactement comme le ferait un corps lancé horizontalement avec une vitesse égale à celle de la lumière, nous ne voyons pas pourquoi, ce même rayon de lumière, à cause de sa masse inerte, ne participerait pas au mouvement de la source dont il émane et se propagerait dans l'espace avec une vitesse indépendante de la vitesse de cette même source? Or c'est bien cela qu'affirme le postulat de la constance de la vitesse de la lumière.

Ainsi donc, selon le mot de M. Abraham, la théorie de la relativité échoue sur l'écueil de la pesanteur, non pas parce qu'Einstein dans sa théorie générale a restreint le domaine de la validité du postulat de la constance de la vitesse de la lumière (nous avons vu que l'auteur de la relativité a su éviter habilement cette objection), mais parce que ce postulat est entièrement en opposition avec son principe d'équivalence et que l'application à la lumière du principe de l'équivalence de la masse pesante et de la masse inerte conduit à lui attribuer des propriétés contradictoires, c'est-à-dire celles d'avoir une masse pesante et être soumise à la loi de la gravitation et d'avoir une masse inerte et ne pas être soumise à la loi de l'inertie [1].

De ces diverses tentatives de vérification d'une conséquence de la théorie de la relativité généralisée, qui attribue à l'énergie radiante des propriétés considérées jusqu'alors caractérisant exclusivement les particules matérielles, nous pouvons rapprocher les efforts faits par ces mêmes relativistes pour expliquer dans le même sens et en faveur de leur théorie une expérience due à Sagnac, reproduite, étudiée et discutée bien à fond par Dufour et Prunier.

G. Sagnac, ayant mis à profit l'interféromètre de Michelson pour étudier les interférences de deux faisceaux superposés

[1] J. Sivadjian, *C. R. Acad. Sc.*, t. 220, 1945, p. 523.

en sens inverses le long d'un circuit optique [1 2 3], a réalisé en 1913 une expérience, devenue célèbre, dans laquelle il montrait que deux rayons lumineux, qui circulent en sens inverses l'un de l'autre sur une plate-forme en rotation de vitesse angulaire a, subissent l'un un retard, l'autre une avance, égaux l'un et l'autre à $2aA/c^2$, A désignant l'aire incluse dans le trajet des rayons [4 5 6]. Michelson et Gale [7] ont effectué la même expérience, en remplaçant cette fois la rotation de la plate-forme par le mouvement diurne de la terre autour de son axe. En revanche, dans l'expérience de Harress [8] et de Pogany [9], les rayons se propagent, non plus dans l'air libre, mais dans du verre entraîné par le disque. Dans ces deux cas également, les résultats sont les mêmes que ceux de Sagnac.

Ces expériences, faites à l'aide de procédés optiques et à l'intérieur de systèmes en mouvement, semblaient révéler l'état de mouvement de ces systèmes. Elles ont paru par conséquent en contradiction avec l'expérience bien connue de Michelson et Morley [10 11] qui, elle, avait donné un résultat négatif. Aussi Picard fit-il remarquer que dans l'expérience de Sagnac on se servait d'un disque tournant, c'est-à-dire d'un mouvement de rotation, tandis que dans celle de Michelson et Morley, on utilisait le mouvement rectiligne et uniforme de la translation de la terre sur son orbite. En terminant, Picard exprimait le désir qu'« il serait intéressant d'expliquer la

[1] G. Sagnac, *C. R. Acad. Sc.*, t. 150, 1910, p. 1302.
[2] G. Sagnac, *C. R. Acad. Sc.*, t. 152, 1911, p. 310.
[3] G. Sagnac, *Le Radium*, t. 8, 1911, p. 1.
[4] G. Sagnac, *C. R. Acad. Sc.*, t. 157, 1913, p. 708.
[5] G. Sagnac, *C. R. Acad. Sc.*, t. 157, 1913, p. 1410.
[6] G. Sagnac, *Journ. de Physique*, 5e série, t. 4, 1914, p. 177.
[7] A. A. Michelson et H. G. Gale, *Astrophys. Journ.*, t. 61, 1925, p. 137.
[8] Franz Harress, *Die Geschwindigkeit des Lichtes in bewegten Körpern*, Inaugural-Dissertation, Erfurt ,1912.
[9] B. Pogany, *Ann. der Physik*, t. 80, 1926, p. 217; t. 85, 1928, p. 244.
[10] A. A. Michelson, *Amer. Journ. of Science*, 3e série, t. 22, 1881, p. 120.
[11] A. A. Michelson and E. W. Morley, *Phil. Mag.*, 5e série, t. 24, 1887, p. 449; *Amer. Journ. of Science*, 3e série, t. 34, 1887, p. 333.

belle expérience de Sagnac au moyen de la théorie générale de la relativité, en allant jusqu'aux concordances numériques [1]. »

Pour répondre à ce désir de Picard, Langevin proposa d'expliquer le résultat de l'expérience de Sagnac « en se plaçant au point de vue de la relativité généralisée et en y voyant l'influence sur la propagation de la lumière du champ de gravitation particulier aux observateurs liés à la plate-forme en rotation, le même champ qui se manifeste mécaniquement par les effets de force centrifuge ou gyroscopique [2]. » Ainsi, d'après cet auteur, « cette expérience optique du premier ordre s'apparente ainsi à l'expérience du pendule de Foucault ou à celle du gyroscope et manifeste une fois de plus depuis Newton la possibilité de mettre en évidence le mouvement de rotation d'un système matériel par des expériences intérieures au système [2]. »

Sagnac lui-même avait proposé d'expliquer le résultat de ses expériences, ainsi que l'opposition de ses résultats avec ceux de Michelson et Morley, en admettant l'entraînement total des ondes lumineuses par le mouvement de translation, conformément à la relativité newtonienne de la mécanique classique de la matière, qui s'étend ainsi, disait-il, à l'énergie radiante. Mais, dès que le mouvement de translation fait place à la rotation, l'effet centrifuge apparaît et l'entraînement des ondes cesse, d'où le déplacement des franges d'interférence. Il est donc possible de constater nettement par l'expérience, concluait-il, « que la relativité de l'énergie est en défaut si l'on remplace la translation par une rotation uniforme du système [3]. »

Ainsi, dans cette manière de voir de Langevin et en adoptant son interprétation de ces résultats, on se trouve, dans le cas de Sagnac, en présence d'une expérience faite avec une source terrestre, équivalente aux observations astronomiques, relatives à la déviation de la lumière dans le champ de gravitation du soleil, toutes destinées à établir une analogie entre les par-

[1] Emile Picard, *C. R. Acad. Sc.*, t. 173, 1921, p. 680.
[2] P. Langevin, *C. R. Acad. Sc.*, t. 173, 1921, p. 831.
[3] G. Sagnac, *C. R. Acad. Sc.*, t. 170, 1920, p. 1239.

ticules matérielles et les radiations lumineuses en ce qui concerne leurs réactions vis-à-vis des champs de gravitation.

Mais alors, ainsi que le fit remarquer Prunier [1], si sur la même piste de Sagnac, au lieu de photons, on faisait circuler en sens inverse des électrons, c'est-à-dire des particules douées de masse, l'effet Sagnac se serait produit exactement comme s'il s'agissait de la lumière. Les prévisions de la relativité et de la théorie classique ne seraient plus les mêmes. C'est-à-dire que, si sur la piste de rotation on remplace les photons par des particules matérielles, la théorie classique prévoit qu'il n'y aura pas de différence de parcours entre les deux flux de corpuscules qui voyagent en sens inverse, car leurs vitesses sont toujours V par rapport à cette piste. En effet, « si deux mobiles parcourent dans des sens opposés une même piste fermée sur un disque en rotation, ces deux mobiles, conservant une même vitesse constante V par rapport au disque, la conception classique veut que le temps de parcours du circuit fermé soit le même dans les deux sens, c'est-à-dire que les deux mobiles se rencontrent toujours aux mêmes points de la piste, tandis que, dans la conception relativiste, les durées de parcours devront présenter entre elles une différence égale, au premier ordre, à $\frac{4\,\omega\,A}{c^2}$ si A est l'aire comprise à l'intérieur d'un circuit fermé et c la vitesse de la lumière; la durée de parcours sera la plus petite pour celui des deux mobiles qui circule sur la piste en sens inverse du mouvement de rotation d'entraînement et par conséquent, les points de croisement des mobiles devront, au lieu de rester fixes, par rapport au disque, se déplacer sur la piste dans ce même sens inverse [2]. »

Ainsi, selon la théorie classique, si l'on fait circuler en sens inverse sur un disque en rotation, deux rayons de lumière, il y aura une différence entre le parcours de ces deux rayons, différence mise en évidence par le déplacement des franges d'interférence, mais si l'on fait circuler dans les mêmes conditions des particules douées de masse, il n'y aura pas de différence dans les parcours. Par contre, d'après le point de vue

[1] F. Prunier, *C. R. Acad. Sc.*, t. 200, 1935, p. 46.
[2] *Ibidem.*

relativiste, dans les deux cas, qu'il s'agisse de lumière ou de particule matérielle, il y aura toujours une différence dans les parcours et, par conséquent, l'effet Sagnac sera visible aussi bien pour la matière que pour le rayonnement [1]. Si, au lieu des particules matérielles, on considère deux planètes dans leur mouvement autour du soleil et dont on rapporte le mouvement à un disque de Sagnac gigantesque constitué par le plan de l'équateur solaire supposé lié au mouvement de rotation du soleil, on se trouve ainsi en possession d'un nouveau criterium astronomique, basé cette fois non pas sur la propagation de la lumière, mais sur les mouvements des corps célestes, susceptible de confirmer ou d'infirmer cette analogie hypothétique [2] [3] [4].

Par ailleurs, Dufour et Prunier, en modifiant de différentes manières l'expérience de Sagnac, ont soumis à un contrôle rigoureux le principe de la constance de la vitesse de la lumière. Ils ont tout d'abord montré que le phénomène de Sagnac s'observe également, lorsque l'observateur étant toujours entraîné par le disque en rotation, la source restait fixe dans le laboratoire [5], ce qui est à prévoir d'après la théorie classique, car le mouvement des rayons est indépendant de celui de la source. Ils ont ensuite constaté que le résultat reste encore le même si la source étant entraînée, c'est l'observateur qui reste au repos, (car la plaque qui sépare et réunit les deux rayons est en mouvement et c'est de cette plaque que dépend le phénomène) [6]. Dufour et Prunier font remarquer à cette occasion que l'effet quantitatif, qui, dans la théorie classique, était le même que dans celui de l'observateur mobile, dans la théorie relativiste serait le double de celui-ci. En effet, « pour l'observateur relativiste entraîné par le disque, les parcours lumineux

[1] P. Langevin, *C. R. Acad. Sc.*, t. 200, 1935, p. 48.
[2] F. Prunier, *C. R. Acad. Sc.*, t. 212, 1941, p. 432.
[3] F. Prunier, *Bull. Astron.*, t. 12, 1940, p. 351.
[4] E. Esclangon, *C. R. Acad.*, t. 212, 1941, p. 434; *ibidem*, p. 461; p. 629.
[5] A. Dufour et F. Prunier, *C. R. Acad. Sc.*, t. 204, 1937, p. 1322.
[6] A. Dufour et F. Prunier, *C. R. Acad. Sc.*, t. 204, 1937, p. 1925.

ont la longueur l, et la vitesse de la lumière est c; tandis que pour l'observateur relativiste immobile, les parcours lumineux sont devenus (par suite de la rotation du disque et en nous bornant aux termes du premier ordre en v/c), l'un $l + vl/c$, l'autre $l - vl/c$, mais la vitesse de la lumière reste toujours égale à c. L'effet Sagnac observé par l'opérateur fixe doit donc être, en théorie relativiste, différent de l'effet Sagnac observé par l'opérateur entraîné, à cause du retard supplémentaire égal à $2vl/c^2$ résultant de l'inégalité des parcours lumineux pour l'observateur immobile. Ce retard devrait donner naissance à un décalage supplémentaire des franges précisément égal à l'effet Sagnac primitif. Les résultats expérimentaux obtenus ici ne vérifient pas cette prévision [1]. »

Langevin estime cependant que ce désaccord n'existe pas. « Pour un observateur entraîné, objecte-t-il, qui utilise sur la surface de la plate-forme en rotation des coordonnées d'espace liées à celle-ci, distance r à un centre et angle polaire θ, par exemple, il n'est pas possible d'associer à cet espace un temps uniforme respectant la propagation isotrope de la lumière. L'observateur lié à la plate-forme doit donc choisir entre deux solutions simples; la première consiste à adopter un temps central t, qui est celui des observateurs galiléens, par rapport auxquels le centre choisi sur la plate-forme est immobile. Dans ce cas il existe une anisotropie dans la propagation de la lumière, dont la vitesse varie avec la direction entre $c - \omega r$ et $c + \omega r$ au premier ordre d'approximation en ω. Dans ce système les parcours sont égaux au premier ordre, mais de durées inégales en raison de l'inégalité des vitesses de propagation. La seconde solution qui respecte l'isotropie dans la propagation de la lumière consiste à adopter un temps local t non uniforme [2]. » Mais, ainsi que l'ont fait si bien remarquer Dufour et Prunier [3], avec la première solution, admise par Langevin, dans laquelle on adopte un temps central uniforme et des coordonnées d'espace tous rapportés au centre de rotation

[1] A. Dufour et F. Prunier, *loc. cit.*

[2] P. Langevin, *C. R. Acad. Sc.*, t. 205, 1937, p. 304.

[3] A. Dufour et F. Prunier, *C. R. Acad. Sc.*, t. 205, 1937, p. 658.

du disque, c'est-à-dire à l'axe, on revient à la cinématique classique. Celle-ci, tenue pour inexacte au premier ordre pour des systèmes d'axes en translation, redeviendrait donc exacte au premier ordre pour des systèmes liés à un disque en rotation quand le centre est choisi sur l'axe de rotation. Aussi loin que soit ce centre et aussi petit que soit ω, l'on devrait toujours admettre que les vitesses de la lumière sur la portion de trajectoire restée à distance finie, sont respectivement données pour l'observateur lié au disque par $c + \omega r$ et $c - \omega r$ pour les deux sens de propagation. On est donc conduit à supposer qu'il devrait en être de même dans le cas-limite d'un mouvement de translation de vitesse v ainsi que le prévoit seule la théorie classique [1]. Ceci ressort nettement des constatations suivantes: si l'on recommence l'expérience de Sagnac avec un disque en rotation, dans laquelle une partie du circuit optique n'est pas entraînée, alors que l'autre partie est entraînée avec l'observateur, on observe un déplacement des franges sur l'origine duquel les deux théories seront d'accord à condition que l'observateur relativiste adopte un temps central uniforme, et des axes galiléens liés au centre de rotation du disque [2 3 4 5]. « Or cette affirmation est indépendante de la valeur du rayon du disque et reste inchangée même si l'on fait croître indéfiniment ce rayon tout en maintenant finie la vitesse linéaire ωr du point P utilisé au voisinage de la périphérie de la plateforme tournante. Mais dans ces conditions le mouvement d'entraînement de la région finie du disque avoisinant le point P, seule utilisée expérimentalement, devient une simple translation. Cette nouvelle manière de traiter la question au point de vue relativiste conduit donc à admettre que dans le cas d'une translation, la vitesse de la lumière ne serait pas constante et égale à c dans le système entraîné, mais qu'elle

[1] A. Dufour et F. Prunier, *loc. cit.*

[2] A. Dufour et F. Prunier, *C. R. Acad. Sc.*, t. 208, 1939, p. 988.

[3] O. Costa de Beauregard, *C. R. Acad. Sc.*, t. 211, 1940, p. 634.

[4] A. Dufour et F. Prunier, *C. R. Acad. Sc.*, t. 212, 1941, p. 153.

[5] F. Prunier, *C. R. Acad. Sc*,. t. 222, 1946, p. 1290.

aurait des valeurs variables avec sa direction et son sens de propagation tout comme l'admet la théorie classique. La nouvelle forme d'interprétation relativiste étudiée ci-dessus se montre donc dans le cas-limite de rotation devenant une translation, en contradiction formelle avec l'un des postulats fondamentaux de la relativité restreinte [1]. »

Parmi les théories de propagation non isotrope de la lumière, on doit donner la première place aux théories d'émission qui, toutes, admettent précisément que la vitesse du rayonnement émis par une source en mouvement est égale à la somme vectorielle de la vitesse de la source et de la lumière. Toutefois, ces théories diffèrent en ce qui concerne la vitesse de ce même rayonnement, après réflexion sur un miroir. Nous trouvons à ce propos trois points de vue différents: a) la partie du miroir excitée par le rayonnement incident se comporte comme une nouvelle source lumineuse et, par conséquent, la lumière réfléchie a, par rapport au miroir, la même vitesse c que la lumière incidente par rapport à la source [2] [3]; et si le miroir est au repos, la lumière qu'il réfléchit aura alors la vitesse ordinaire c comme si elle émanait d'une source au repos, même dans le cas où cette source serait mue d'un mouvement quelconque. Lorsque le miroir lui-même serait en mouvement, alors la vitesse de la lumière réfléchie serait égale à la somme algébrique des deux vitesses b) C'est l'image de la source réfléchie sur le miroir qui se comporte comme une nouvelle source. Dans cette théorie, tout se passe en somme comme si le miroir n'existait pas et qu'on a affaire à une source qui se déplace comme l'image donnée par le miroir et si nous supposons que ce miroir est au repos, la vitesse de la lumière, provenant d'une source mobile avec la vitesse u et réfléchie sur ce miroir, aura par rapport à ce dernier, la valeur $c + u$ égale à celle de la lumière incidente. Mais si nous admettons que le

[1] A. Dufour et F. Prunier, *Sur un déplacement de franges enregistré sur une plate-forme en rotation uniforme*, Paris, Jouve et Cie, éditeurs, 1940, p. 42; *Journ. de Physique et le Radium*, 8e série, t. 3, 1942, p. 153.

[2] R. C. Tolman, *Phys. Rev.* ,t. 31, 1910, p. 26.

[3] Richard C. Tolman, *The Theory of the relativity of motion*, University of California Presse, Berkeley, 1917, Ch. II, § 22, p. 25.

miroir lui-même est en mouvement et qu'il fuit par exemple la source avec la vitesse w, la vitesse de la lumière émise par la source et rapportée au miroir, sera $c + v - w$, et comme, après réflexion, elle sera renvoyée avec une vitesse qui se composera de cette vitesse incidente et de la vitesse $-w$ du miroir, cette vitesse sera donc égale à $c + v - 2w$ pour l'observateur immobile et $c + v - w$, c'est-à-dire la même que celle de la lumière incidente par rapport au miroir [1 2 3]. c) La lumière, après réflexion, se propage avec la vitesse c sous forme d'une onde sphérique autour d'un centre qui se meut avec la même vitesse que la source, si le miroir est au repos et avec la vitesse $c - u$, si le miroir lui-même se meut, avec la vitesse u dans le même sens que la lumière réfléchie [4].

Un certain nombre d'expériences ont été réalisées afin de pouvoir décider en faveur de l'une ou de l'autre de ces trois théories en présence.

Dans l'hypothèse de Tolman, c'est-à-dire en supposant que le miroir immobile se comporte, vis-à-vis de la lumière qu'il réfléchit, comme une nouvelle source au repos, donc ne modifiant pas la vitesse du rayon après sa réflexion, recevons successivement, dans un interféromètre, la lumière provenant des deux bords du soleil, dont l'un se rapproche de nous, tandis que l'autre s'éloigne. Cette lumière pénètre dans l'appareil en s et s'y divise en deux, dont l'un, sf, arrive à l'interféromètre d'une manière directe et l'autre, smf, après réflexion sur le miroir m. Si la vitesse de la source se compose avec celle de son rayonnement, la vitesse du rayon direct sf aura une valeur plus élevée ou plus faible que sa valeur normale, suivant qu'elle émane du bord du soleil qui se rapproche de nous ou de celui qui s'éloigne. En revanche, comme, par hypothèse, la lumière réfléchie par le miroir au repos, qui fonctionne comme une nouvelle source, se propage avec sa vitesse normale, l'aspect des

[1] J. J. Thomson, *Phil. Mag.*, 6e série, t. 19, 1910, p. 301.
[2] J. Kunz, *Amer. J. of. Science*, 4e série, t. 30, 1910, p. 313.
[3] O M. Stewart, *Phys. Rev.*, t. 32, 1911, p. 418.
[4] W. Ritz, *Ann. de Chim. et de phys.*, 8e série, t. 13, 1908, p. 145; *Œuvres complètes* p. 317; *Arch. Sc. Phys. Natur.*, 4e série, t. 26, 1908, p. 232.

franges ne sera pas le même et il se modifiera suivant que notre observation se portera sur l'un ou l'autre bord. Or, rien de semblable n'ayant été observé, Tolman [1] en conclut que la vitesse de la lumière n'est pas influencée par le mouvement de sa source.

Il faut rappeler à cette occasion que Blair et Robisson avaient déjà indiqué ce moyen pour rendre sensible l'inégalité de vitesse avec laquelle sont réfléchis les rayons lumineux qui arrivent à nous par l'observation des deux bords de Jupiter ou de ceux de l'anneau de Saturne, à cause du mouvement de rotation des planètes sur elles-mêmes [2].

Les expériences de Majorana, qui ont montré que la vitesse de la lumière n'est pas modifiée ni par le mouvement de la source, ni par le mouvement d'un miroir, après réflexion, ont prouvé en même temps que l'hypothèse de Stewart n'est pas vérifiée.

En effet, lorsqu'un miroir plan se déplace parallèlement à lui-même avec la vitesse v', l'image d'un objet ou d'une source fixe, donnée par ce miroir se déplace, selon la théorie de Stewart, avec la vitesse $v = 2v'$.

Alors, par suite de l'effet Doppler, la fréquence de la lumière réfléchie est

$$n' = n\left(1 + \frac{v}{c}\right),$$

n étant la fréquence de la lumière incidente et c la vitesse de propagation supposée de la lumière réfléchie.

La longueur d'onde correspondante:

$$\lambda' = cT' = \frac{n}{c} = cT\left(1 - \frac{v}{c}\right) = \lambda\left(1 - \frac{v}{c}\right),$$

λ étant la longueur d'onde dans le vide.

[1] R. C. Tolman, *ibidem.*
[2] M. Arago, *C. R. Acad. Sc.*, t. 36, 1853, p. 42.

Si, comme l'ont supposé Stewart et Thomson, la vitesse de la lumière réfléchie était $c + v$, la longueur d'onde de la lumière réfléchie serait:

$$\lambda'' = (c + v)T' = (c + v)\frac{1}{n\left(1 + \frac{v}{c}\right)} = cT = \lambda ,$$

c'est-à-dire la même que si le miroir était immobile.

Pour décider entre ces divers points de vue, Majorana éclaire un interféromètre de Michelson avec la lumière verte de l'arc au mercure, $\lambda = 546$ mμ, réfléchie par le miroir et observe à la lunette les franges circulaires à l'infini que donne l'interféromètre. La différence de marche δ relative à un certain point du champ d'observation peut être estimée en fonction soit de λ soit de λ', alors:

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda}\left(1 + \frac{v}{c}\right) = \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta}{\lambda}\frac{v}{c} ;$$

si une certaine frange passe en M lorsque le miroir est au repos, elle y restera lorsque le miroir est en mouvement dans le cas où la vitesse passerait de la valeur c à la valeur $c + v$, mais dans le cas contraire la frange glissera de:

$$\frac{\delta}{\lambda}\frac{v}{c} . \qquad (1)$$

Pour $\delta = 130$ millimètres, l'auteur a observé un déplacement très nettement observable, compris entre 0,7 et 0,8 franges, quand la roue qui porte les miroirs passe de la vitesse de 60 tours par seconde à une vitesse égale de sens contraire et pour quatre réflexions successives.

Le déplacement correspondant calculé par (1) fait prévoir un déplacement de 0,71 qui est en bon accord avec l'expérience. En conséquence, après réflexion la vitesse de la lumière n'est pas modifiée [1 2 3].

[1] Q. Majorama, *C R. Acad. Sc.*, t. 165, 1917, p. 424; *ibidem*, t. 167, 1918, p. 71.

[2] Q. Majorana, *Journ. de Physique*, 5e série, t. 7, 1917, p. 203.

[3] Q. Majorana, *Phil. Mag.*, 6e série, t. 35, 1918, p. 163; *ibidem*, t. 37, 1919, p. 145.

Cette expérience de Majorana, qui ne confirme pas les hypothèses de Tolman et de Stewart-Thomson, s'accorde, d'après Michaux [1] et Wataghin [2] avec l'hypothèse de Ritz, ainsi qu'avec l'hypothèse de la non-participation de la théorie classique. Par contre, selon Kennard [3], la mesure de la longueur d'onde dans un appareil où la lumière a subi plusieurs réflexions et transmissions [4] [5], peut facilement être faussée par suite de ces conditions expérimentales; mais il n'en est pas de même, dit-il, des études basées sur les modifications de l'aspect des franges d'interférence. Or, nous avons vu que dans la dernière expérience de Dufour et Prunier nous avions un faisceau lumineux, issu d'une source fixe S, et dirigé sur une lame séparatrice qui donne naissance à deux rayons. Le premier traverse la lame et continue son chemin dans sa direction primitive, le second se réfléchit sur la lame séparatrice et poursuit par conséquent son chemin dans la direction opposée à la première. Puis, ces deux rayons, après avoir fait le tour du circuit fermé en sens inverse l'un de l'autre, se réunissent de nouveau sur la même lame séparatrice qui les envoie cette fois-ci à un interféromètre de Sagnac où l'on observe la formation des franges. L'expérience montre que si l'on fait tourner la plate-forme qui porte cette installation optique, dans un sens ou dans l'autre, ce mouvement de rotation amène un déplacement des franges d'interférence, dont la valeur est la même pour les deux sens de rotation et de l'ordre de grandeur prévu par la théorie de la non-participation. Si l'on admet que la lumière participe au mouvement de sa source, et de plus, conformément aux deux premières hypothèses, à celui de la lame réfléchissante, la vitesse du rayon réfléchi doit être influencée par le mouvement du miroir, tandis que celle du rayon transmis doit rester inchangée. Le déplacement des franges ne doit plus être symétrique et sa valeur doit dépendre du sens de la rotation, ce qui, n'étant pas, on en conclut que la réflexion de la

[1] F. Michaux, *C R. Acad. Sc.*, t. 168, 1919, p. 507.
[2] G. Wataghin, *Zeitschr. fur Physik*, t. 40, 1927, p. 378.
[3] E H. Kennard, *Nature*, t. 109, 1922, p. 581.
[4] Ch. Fabry et H. Buisson, *C. R. Acad. Sc.*, t. 158, 1914, p. 1498.
[5] A. A. Michelson, *Astrophys. J.*, t. 37, 1913, p. 190.

lumière sur un miroir en mouvement ne modifie pas la vitesse de propagation du rayon réfléchi.

On peut interpréter aussi dans le même sens le résultat de l'expérience de Stark [1] qui a constaté que la surface d'onde de la lumière émise par les rayons canaux ou, en général, par un point lumineux en mouvement, reste sphérique [2] [3].

D'autre part, si une source lumineuse se meut vers un miroir, la différence $r - i$ qui existe entre l'angle de réflexion (r) et l'angle d'incidence (i) n'est pas nulle en général dans la théorie balistique, alors que dans la théorie classique elle est nulle. La valeur de cette différence est au second ordre en v/c, ce qui, dans le cas des rayons canaux, dont la vitesse est de $6{,}10^7$ cm par sec., devient égal à 1″ environ, valeur accessible à l'observation. Or, malgré cela, l'expérience n'a pas confirmé non plus, d'après Wataghin [3] cette prévision de la théorie balistique.

Quant à la théorie de Ritz, celle-ci prévoit que le résultat d'une expérience, telle que celle de Michelson et Morley, doit être différent, suivant que la lumière utilisée est issue d'une source terrestre ou extraterrestre. En répétant l'expérience de Michelson et Morley avec une source extraterrestre, dans le cas où la théorie balistique de Ritz serait exacte, la vitesse de la lumière devrait être différente suivant qu'elle arrive normalement ou parallèlement au mouvement de l'appareil. L'expérience, bien que trop délicate [4], fut tentée néanmoins par Tomaschek [5], sans toutefois arriver à un résultat net, ce qui était d'ailleurs à prévoir, à cause des difficultés de l'entreprise [4]. Du reste, Guillaume [6] estime que la théorie de Ritz est en contradiction avec le principe de Carnot et que, par conséquent, la vitesse de la lumière ne peut pas être influencée par le mouvement de sa source suivant la loi de Newton.

[1] J. Stark, *Ann. der Physik*, 4e série, t. 77, 1925, p. 16.

[2] R C. Tolman, *Phys. Rev.*, t. 35, 1912, p. 136.

[3] Wataghin, *ibidem.*

[4] M. La Rosa, *Ann. der Physik*, 4e série, t. 75, 1924, p. 195.

[5] R. Tomaschek, *Ann. der Physik*, 4e série, t. 73, 1924, p. 105; t. 74, 1924, p. 136.

[6] E. Guillaume, *C. R. Acad. Sc.*, t. 157, 1913, p. 1138.

On a opposé à ces théories d'émission un certain nombre de théories relativistes, qui, tout en restant dans le cadre de la théorie ondulatoire classique, admettent la propagation non isotrope de la lumière, ce qui entraîne naturellement la déformation des ondes. Ainsi, selon Poincaré « on pourrait imaginer, par exemple, que c'est l'éther qui se modifie quand il se trouve en mouvement relatif par rapport au milieu matériel qui le pénètre; que, quand il est ainsi modifié, il ne transmet plus les perturbations avec la même vitesse dans tous les sens. Il transmettrait plus rapidement celles qui se propageraient parallèlement au mouvement du milieu, soit dans le même sens, soit dans le sens contraire, et moins rapidement celles qui se propageraient perpendiculairement. Les surfaces d'ondes ne seraient plus des sphères, mais des ellipsoïdes et on pourrait se passer de cette extraordinaire contraction de tous les corps [1]. » Et si l'on préfère de ne pas prononcer le nom de l'éther, on peut admettre avec Esclangon [2] la possibilité d'une certaine réaction du mouvement de la source sur celui du rayonnement qui en est issu.

Suivant l'une ou l'autre des théories proposées, l'ellipsoïde d'onde est focalisée sur le point d'émission qui constitue alors le foyer arrière de l'onde (Le Roux) [3], ou bien l'onde est centré sur le point d'émission, comme c'est le cas dans la théorie développée par Varcollier [4] [5] et Dive [6]. Dans tous les cas, le foyer avant de l'ellipsoïde se trouve confondu avec la position actuelle de la source mobile.

M. Varcollier, en particulier, a donné à cette théorie de la propagation ellipsoïdale des ondes un développement très

[1] H. Poincaré, *La Valeur de la Science*, Ernest Flammarion, 1932, Ch. IX, p. 202; *La Mécanique nouvelle*, p. 9.

[2] E. Esclangon, *La Notion de Temps*, Paris, Gauthier-Villars, 1938, p. 17.

[3] J. Le Roux, *Ann. Soc. polon. Math.*, t. 13, 1936, p. 16.

[4] H. Varcollier, *La relativité dégagée d'hypothèses métaphysiques*, Paris, Gauthier-Villars, 1925, Ch. XV, p. 439.

[5] H. Varcollier, *Propagation ellipsoïdale. Relativité, quanta*, Alger, 1942.

[6] P. Dive, *Bull. Acad. de Clermond*, Mars-Mai 1939; *Bull. Astron.*, t. 14, 1940, p. 1.

considérable dans un ouvrage récent [1], où il a porté son principal effort à préciser la forme exacte de l'onde ellipsoïdale émise par une source animée d'une vitesse uniforme. Il arrive ainsi à reconstituer presque intégralement les formules des théories relativistes et, en élargissant le domaine de l'application de sa théorie, il aboutit à la fin de son travail à une formule nouvelle de la dynamique de l'électron qui fait entrevoir une explication possible des mouvements intra-atomiques stables, ainsi que des mouvements émissifs quantifiés.

Sans pouvoir aller plus loin dans l'analyse des vues de Varcollier, nous terminons ce travail en résumant les conclusions qui s'en imposent: Le principe de la constance de la vitesse de la lumière est une notion hybride. Lui-même se décompose en deux principes distincts, l'un relatif au rapport que peut avoir cette vitesse avec le mouvement de sa source et l'autre relatif à un rapport analogue avec le récepteur. En ce qui concerne le premier point, nous avons vu que les expériences faites notamment avec des sources terrestres n'ont jamais pu mettre en évidence la participation de la lumière au mouvement de sa source. Les conclusions que l'on peut tirer de l'observation des sources extraterrestres n'ont pas pu amener la conviction générale des auteurs.

L'expérience la plus concluante à cet égard est, à notre avis, celle de Dufour et Prunier qui ont pu montrer que la modification de l'aspect du phénomène observé était indépendante du sens de rotation de l'appareil, donc du mouvement des miroirs entraînés par cette rotation. Cette observation nous amène à conclure que la vitesse de la lumière est indépendante du mouvement de sa source et qu'il est par conséquent impossible de composer ces deux mouvements.

Quant au deuxième point, la vieille observation de Römer ayant montré, en principe, que la vitesse de la lumière était sûrement influencée par le mouvement du récepteur, la composition des mouvements se trouve être, malgré Einstein, parfaitement légitimée dans ce cas.

Il faut insister en outre sur le point important suivant: étant

[1] H. Varcollier, ouvrage cité à la page précédente, note 2.

donné que le principe de la constance de la vitesse de la lumière équivaut au principe de l'indépendance de cette vitesse de celle de sa source, ce principe fondamental de la relativité restreinte se trouve en contradiction formelle avec le principe fondamental de la relativité généralisée, c'est-à-dire le principe d'équivalence, puisque ce dernier principe tend à attribuer à l'énergie radiante des propriétés que le premier principe lui refuse. L'expérience a montré en effet que la lumière ne peut pas être assimilée à un point matériel soumis à la loi de l'inertie et pouvant subir un mouvement d'entraînement. Elle ne peut donc pas être soumise non plus à la loi de la gravitation et, d'ailleurs, si l'on tient compte des critiques récentes qui tendent à attribuer à la déviation de la lumière au voisinage du soleil une valeur sensiblement supérieure à celle que prévoit la théorie de la relativité, on se trouve naturellement porté à refuser l'interprétation relativiste proposée à ce phénomène.