

Janvier 2007

Les expériences optiques et la relativité.

Une illustration de la force des idées préconçues.

Par

Pierre Fuerxer,

Ancien adjoint militaire au directeur de CNET,

Membre de l'AIRAMA*.

Résumé :

La première expérience interférométrique de Michelson en 1881 a eu un très grand retentissement dans la communauté scientifique. Le fait que son résultat n'ait pas été conforme à l'attente des physiciens a été directement à l'origine de la théorie de la relativité. Il fallait expliquer pourquoi l'expérience de Michelson n'avait pas permis de mesurer la vitesse de la Terre. L'option de décider, au nom du principe de relativité, que la notion même de vitesse de déplacement n'avait pas de sens avait le mérite de clore définitivement le débat.

Après une longue période au cours de laquelle partisans et adversaires de cette théorie se sont affrontés, il est maintenant admis qu'au fur et à mesure que les expériences sont devenues plus précises, elles ont confirmé cette théorie qui ne devrait plus souffrir d'aucune contestation de la part des physiciens.

Il était donc intéressant, à partir des documents originaux écrits par les auteurs de ces expériences, de reprendre sans idée préconçue l'analyse de leurs résultats.

Les conclusions de ce travail ne manquent pas de surprendre. A la lumière de ces expériences, le concept d'Ether rigide dans lequel des ondes se propageraient à vitesse constante doit être rejeté. Par contre, les expériences citées à l'appui de la théorie de la relativité sont loin d'avoir donné des résultats réellement nuls, et donc de confirmer totalement la théorie de la relativité.

En fait, nous observons une cohérence globale des résultats de l'ensemble des expériences réalisées. Tout se passe comme si un phénomène physique unique, incompatible avec les théories physiques connues et non encore identifié par les expérimentateurs, était à l'origine des anomalies observées qui ne seraient pas, comme on le dit, des artéfacts.

Les possibilités techniques nouvelles dont nous disposons aujourd'hui permettraient de réaliser des expériences d'une très grande qualité. Il serait donc intéressant de reprendre sur de nouvelles bases, et avec le souci unique de mieux comprendre les phénomènes physiques, une série d'expériences visant à mieux évaluer ce que nous appellerions aujourd'hui des violations de la contraction de Lorentz.

AIRAMA : Alliance Internationale pour la Reconnaissance des apports de Maurice Allais en Physique et en Economie.

Introduction :

Depuis que les physiciens cherchent à comprendre la nature, le progrès scientifique s'est produit par pallier, dans une confrontation permanente entre théorie et expérience.

Très souvent, les chercheurs ont conçu des expériences dans le but de valider des théories auxquelles ils étaient arrivés à la suite d'une construction purement intellectuelle. Comme nous le verrons, cette démarche, même si elle est parfaitement licite, risque toutefois d'influencer l'expérimentateur et de fausser son jugement.

La théorie de la relativité restreinte est un exemple typique de cette attitude. Comme l'a démontré Poincaré, les transformations de Lorentz sont les seules à assurer l'isotropie parfaite de la vitesse de la lumière dans un mobile en mouvement. Si on admet qu'aucune expérience physique n'a mis en défaut cette observation, cette théorie doit être acceptée. Par contre, sa beauté mathématique ne doit en aucun cas être préférée au résultat d'une expérience contradictoire dont les résultats, même s'ils doivent être analysés avec beaucoup de prudence, ne peuvent être récusés. Comme le dit Maurice Allais, la seule autorité que les physiciens doivent respecter est celle de l'expérience.

Ce n'est que par l'observation objective de la nature que les physiciens peuvent faire progresser la connaissance. La découverte du transistor illustre parfaitement cette attitude. Ce n'est qu'en essayant de déterminer le champ électrique au voisinage d'une pointe au contact d'un semi-conducteur que ses inventeurs ont observé un phénomène étrange qu'ils ont ensuite expliqué. Ils n'ont pas rejeté cet effet non conforme aux théories de l'époque, mais au contraire, ils ont cherché à l'observer puis à le comprendre.

Dans le cas de la théorie de la relativité restreinte, les physiciens ont été très loin d'observer cette attitude. Ils voulaient mesurer la vitesse absolue de la Terre, et il faut bien admettre qu'ils ont échoué dans cette tentative. Pour autant, ils ont obtenu des résultats qui sont loin d'être négligeables, et qu'il serait présomptueux d'attribuer aux seuls artefacts dus à des causes fortuites comme les variations de température.

Nous allons donc analyser successivement l'ensemble de ces expériences et montrer que les conclusions, favorables ou non à la théorie de la relativité, que leurs auteurs en ont tiré ont été fortement biaisées par leurs idées à priori.

Les premières expériences interférométriques :

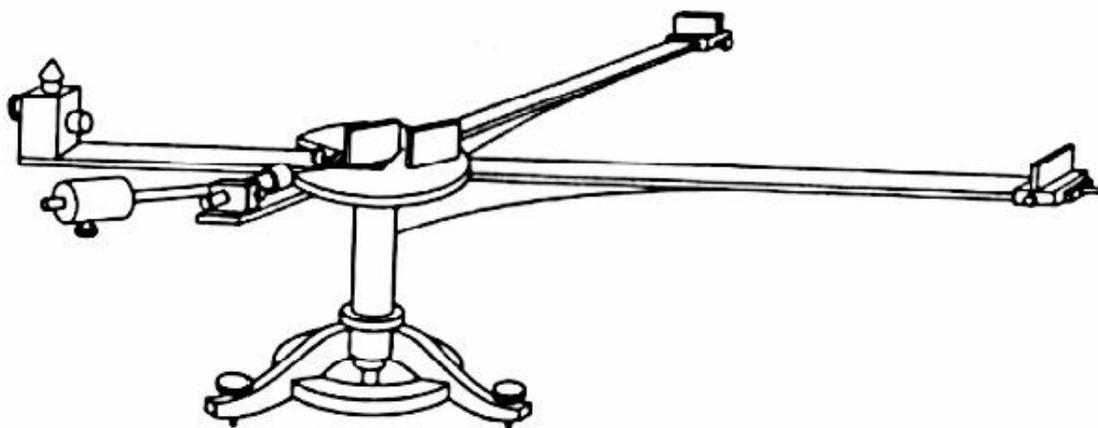
A la fin du 19^e siècle et au début de 20^e siècle, les expérimentateurs avaient pour objectif de mesurer la vitesse absolue de la Terre. Pour eux, les ondes électromagnétiques se propageaient dans un milieu rigide, l'Ether, fixe par rapport aux étoiles.

La vitesse absolue de la Terre avait été estimée de plusieurs manières. Tout d'abord en calculant sa vitesse le long de son orbite autour du Soleil, proche de 30 Km/s, puis en ajoutant une vitesse absolue du Soleil, estimée à partir de considérations astronomiques diverses, et dont la valeur a varié de 200 à 300 Km/s selon les expérimentateurs. De l'interféromètre initial de Michelson à celui de Miller, ils ont cherché sans cesse à en augmenter la sensibilité, mais sans mettre en cause ni le principe même de l'appareil, ni leur conception de l'Ether.

Nous allons donc analyser sans idées préconçues les résultats de ces expériences.

Le premier interféromètre de Michelson (1881) :

Cet interféromètre [1] était un dispositif très rustique dont la longueur des bras était de seulement de 1,20 m.



L'interféromètre de 1881 :

Aucun résultat significatif n'a été observé avec ce dispositif. Celui-ci était trop peu sensible. La non détection du mouvement de la Terre avec ce premier appareil ne peut donc pas être opposé aux expériences suivantes, en particulier la seconde expérience menée par Michelson en collaboration avec Morley, puis à celles de Miller.

Le calcul théorique de Michelson, considéré aujourd'hui comme faux, arrive à une différence de vitesse selon les deux axes en v^2/c^2 . En effet, cette différence de vitesse apparaît si on calcule sur un trajet aller-retour la réduction de la vitesse apparente d'une onde dans le sens du mouvement, alors que la vitesse d'une onde se déplaçant dans la direction orthogonale ne serait pas modifiée. En fait, cette différence est deux fois plus faible si on considère la longueur des deux trajets optiques, mesurés dans le repère fixe. Cette valeur corrigée sera ensuite adoptée par Michelson et tous les expérimentateurs suivants. Comme nous le verrons plus loin, ce calcul résulte d'une hypothèse physique implicite : la validité absolue des équations de Maxwell dans au moins un repère particulier, le repère fixe.

Cette expérience doit être considérée comme une première tentative de mesure de la vitesse absolue de la Terre. En ouvrant la voie à toute une série d'expérimentations interférométriques ultérieures, et en étant directement à l'origine de la théorie de la contraction de Lorentz puis de la théorie de la relativité, elle a joué pour la science un rôle historique essentiel. Cependant, les performances insuffisantes de ce premier dispositif n'auraient pas dû permettre de tirer de conclusion de cet échec, dont les conséquences ont été immenses.

L'interféromètre de Michelson et Morley (1887) :

Dans cet interféromètre [2], la longueur du trajet optique a été portée à 11 mètres grâce à l'introduction de miroirs secondaires.

L'analyse théorique de son fonctionnement a été corrigée pour arriver à la différence de vitesse selon les directions parallèles et orthogonales à la vitesse de déplacement de

l'interféromètre en $1 - \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Les déplacements attendus des franges sont donc deux fois plus faibles que la valeur initialement proposée par Michelson en 1881.

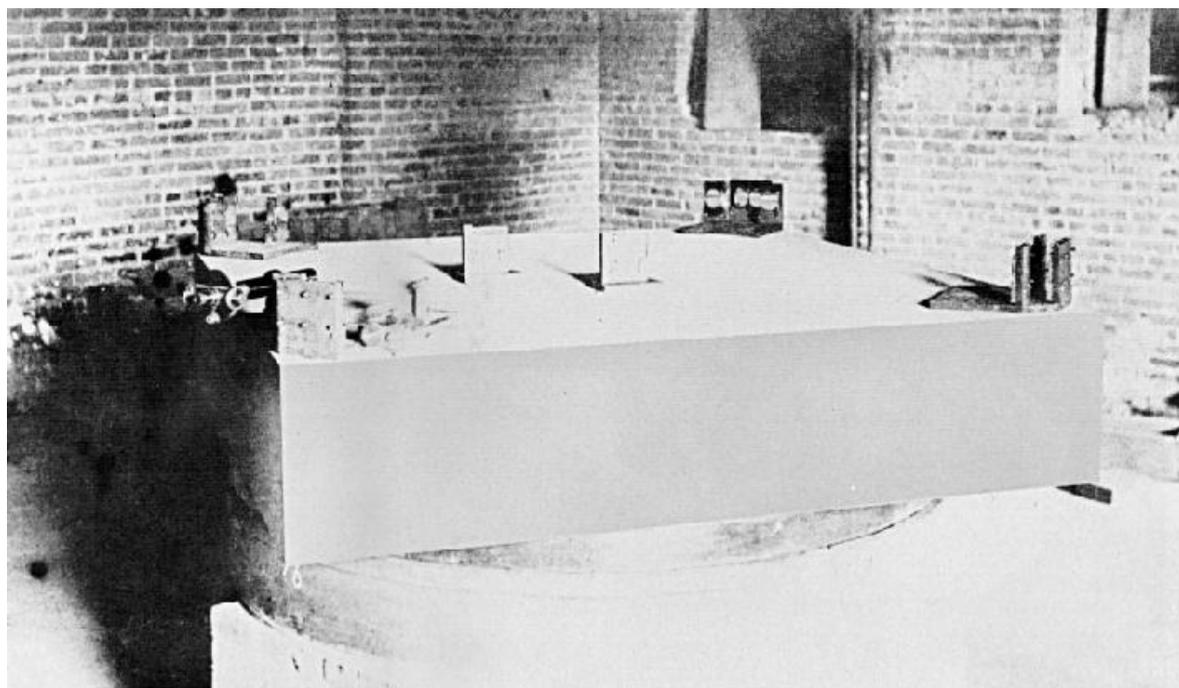
Toutefois, il ne faut pas oublier que cette valeur, actuellement admise et enseignée dans tous les livres de physique, repose sur le calcul de la longueur du chemin parcouru par les deux ondes, considérées comme des mobiles.

Ce raisonnement ignore la nature ondulatoire de la lumière. Un calcul ondulatoire complet conduit à la même sensibilité, à la seule condition d'admettre la validité absolue des équations de Maxwell dans un repère particulier, et de faire quelques hypothèses supplémentaires sur le raccordement des champs le long des miroirs mobiles.

En l'absence de contraction de Lorentz, et compte tenu des hypothèses complémentaires retenues, les angles de réflexion sur les différents miroirs sont alors modifiés et les deux coins optiques, constitués par chacun des ensemble lame semi-réfléchissante et miroir d'extrémité, conduisent à des directions différentes des ondes. Les images de la source données par les coins optiques sont donc décalées par rapport à leur position théorique lorsque le dispositif est en mouvement.

Ce calcul conduit finalement au même résultat $1 - \sqrt{1 - v^2/c^2}$ que la méthode précédente, mais cette fois d'une façon plus rigoureuse, sans l'être tout à fait.

Après la correction de 1887, la sensibilité théorique supposée de l'interféromètre n'a plus varié, mais ne peut être tenue pour valide que dans la mesure où on admet la parfaite validité des équations de Maxwell dans un repère particulier, ainsi que d'autres hypothèse implicite sous-jacente rarement explicitées.



L'interféromètre de 1887 :

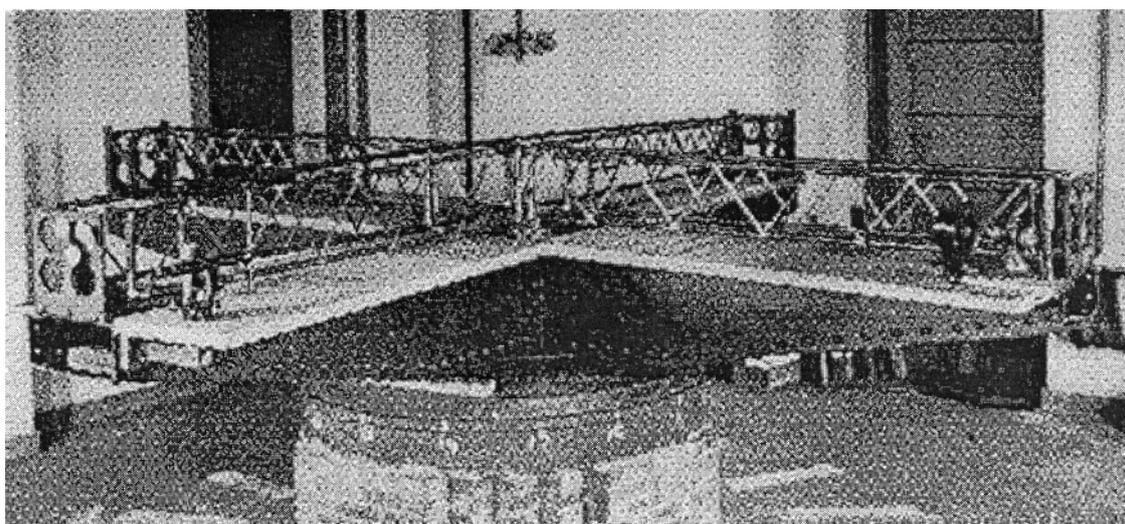
Compte tenu de ce mode de calcul, le résultat obtenu par Michelson a été proche de 8Km/s, donc bien inférieur aux 300 Km/s attendus correspondant à la vitesse absolue estimée du Soleil et de la Terre, et donc supposé non significatif.

Nous devons être conscients du fait que ce résultat est tout à fait cohérent avec les résultats obtenus plus tard par Miller et dont Maurice Allais a montré la grande cohérence interne.

Il n'est pas moins vrai que cet interféromètre n'a pas mesuré la vitesse absolue de la Terre, ni même sa vitesse par rapport au Soleil.

Les Expériences interférométriques de Morley et Miller (1904-1924) :

Ces expériences [3] ont été faites avec un dispositif de beaucoup plus grandes dimensions. Leurs conclusions sont rapportées dans l'article de Miller publié en 1933.



L'interféromètre de Morley et Miller en 1904 :

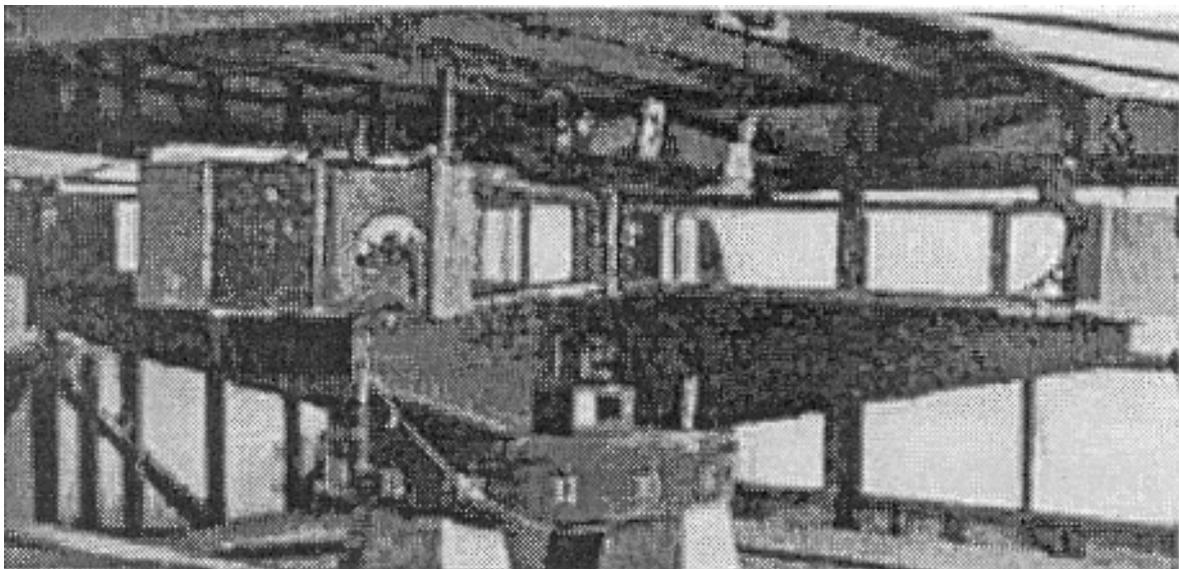
Au cours de cette période, Miller a réalisé une série de dispositifs en essayant diverses variantes. Il teste différents types de matériaux (magnétiques ou non, conducteurs ou non) pour éliminer le plus possible les effets parasites éventuels. Il effectue également très soigneusement la mesure de l'influence de la température et l'effet des déformations du dispositif en fonction des forces de gravitation.

La sensibilité du dispositif étant non nulle, mais très inférieure à la valeur attendue, Miller admit que l'Ether devait être entraîné par la Terre. Cette explication a été retenue par de nombreux physiciens comme Piccard et Stahel qui ont monté un interféromètre sur un ballon. C'est pour cette raison que Miller entreprendra la célèbre campagne de mesure du Mont Wilson, en altitude et dans une structure aussi légère que possible, pour ne pas entraver le vent d'Ether.

Cette période a été marquée par toute une série d'expériences menées à Cleveland, dans le sous-sol de l'université. Elle est le socle technique sur lequel repose la campagne du Mont Wilson.

Les expériences de Miller au Mont Wilson (1924-1926) :

Cette campagne de mesure est le couronnement de tous les travaux que Miller a consacré à la mesure de la vitesse de la Terre avec l'interféromètre de Michelson.



L'interféromètre de Miller :

Les résultats de cette expérience ont été analysés en détail par Maurice Allais. Ce travail ne pouvant être entièrement repris ici, pour connaître les résultats complets de cette analyse, il convient de se rapporter à son livre sur « *L'anisotropie de l'espace* » [4] ou à ses communications à l'académie des sciences [5].

Si Miller a été, avec la technologie de son temps, un excellent expérimentateur, il est surprenant de constater que ses concepts physiques étaient assez confus. Dans le but de poursuivre le calcul de la direction et de la vitesse absolue de la Terre, il admet sans démonstration que la sensibilité de son interféromètre n'est que 0,0514 fois la valeur attendue. Par ailleurs, il considère que les azimuts moyens correspondant aux différentes périodes de mesure sont décalés de 10° vers l'ouest, 40° vers l'ouest puis 10° vers l'est et 55° vers l'est, sans fournir aucune explication à cette anomalie.

Il semble hésiter en permanence entre deux conceptions de l'Ether. Quand il admet que la sensibilité de son interféromètre n'est que $1/20^\circ$ de la valeur attendue, et que ce coefficient est indépendant de la saison donc de la position de la Terre sur son orbite, il penche plutôt vers un Ether solide.

Un cours des campagnes de mesures du Mont Wilson, il construit un abri le plus léger possible pour ne pas risquer de briser le vent d'Ether. Il suppose alors que le vent d'Ether est analogue à une brise légère qui pourrait être arrêtée par le moindre obstacle.

Jamais il n'a cherché à donner une explication commune aux deux anomalies, la réduction de sensibilité et la direction moyenne des hodographes.

Il aurait pu admettre que l'Ether est analogue à un fluide et s'écoulerait donc comme un fluide. Il aurait alors été facile d'expliquer que sa vitesse est faible à proximité de la Terre et qu'à chaque période de l'année, la direction moyenne de cet écoulement au cours d'une journée peut être différente du nord géographique. Il ne l'a pas fait.

Sans reprendre l'ensemble des résultats de Maurice Allais, Je tiens à présenter la figure suivante qui synthétise le mieux ses résultats :



Cette figure représente les quatre hodographes qu'il a obtenu en exploitant les mesures de Miller. Chacun de ces hodographes correspond aux mesures effectuées pendant l'une des campagnes de mesure faites par Miller au mont Wilson.

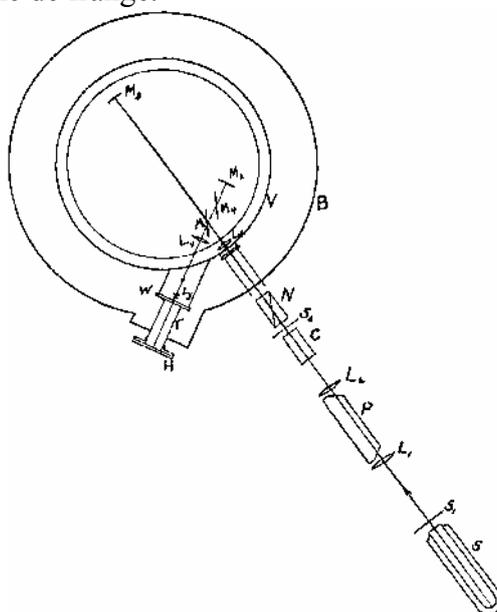
On constate sur ces figures que les ellipses représentant la variation journalière de l'anisotropie observée, représentée sous la forme d'une vitesse, tournent d'un tour par an autour du centre dans le sens rétrograde. Au cours de la journée, ces ellipses sont également parcourues dans ce même sens par l'extrémité du vecteur vitesse.

L'expérience de Roy J. KENNEDY et EDWARD M. THORNDIKE (1932) :

(University of Washington and Polytecnic Institute of Brooklyn).

Le principe de cette expérience interférométrique est différent [6]. Il s'agit d'un interféromètre dont les deux bras sont à la fois de directions et de longueur différentes. Cette expérience a été menée dans le but de vérifier la théorie de la relativité. Celle-ci devait assurer la cohérence de la contraction de Lorentz avec la dérive des raies d'émission des atomes, ici une raie intense de la vapeur de mercure. Pour ses concepteurs, cet appareil ne devait rien observer.

Le dispositif réalisé est d'une extraordinaire qualité. Le contrôle de l'environnement est aussi précis qu'il était possible de le faire dans les années trente. Le dispositif de dépouillement photographique permet la mesure du déplacement d'un réseau de franges avec une résolution d'un millième de frange.



Méthode opératoire :

Le dispositif expérimental est essentiellement un interféromètre d'ordre élevé dont les deux faisceaux conduisant à la figure d'interférence sont séparés par une lame semi réfléchissante et sont donc de directions différentes. Si la vitesse de la lumière est parfaitement isotrope, et la longueur d'onde du signal optique constante dans le repère local, cet interféromètre doit conduire à des anneaux de diffraction d'un diamètre constant quelle que soit l'heure et la saison, c'est-à-dire la position de la Terre sur l'écliptique.

De façon à simplifier l'exposé, je ne reprends pas ici la description précise du dispositif ni les considérations théoriques avancées par ces auteurs dans leur article de 1932, et qui nécessiteraient d'assez longues explications.

Résultats :

Comme Miller, ces expérimentateurs établissent pour différentes périodes de l'année les amplitudes et directions du maximum de déplacement de réseau de franges.

Les données sont portées dans la table II. Les graphiques suivants sont la représentation des mesures de variations journalières présentées dans cette table.

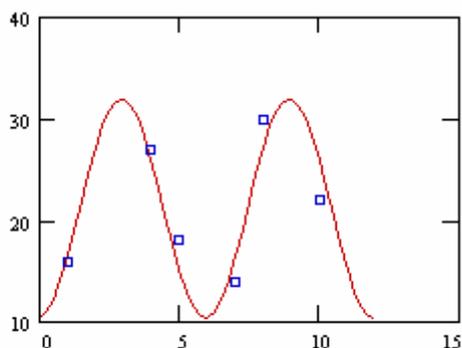


Figure 1 :

La figure 1 représente les six valeurs moyennes de déplacement des franges en cent millièmes de franges. L'abscisse est la période de l'année en mois. La courbe rouge correspond à une fonction sinusoïdale de période six mois ajustée par la méthode des moindres carrés. On note la très bonne correspondance avec les mesures et cette courbe.

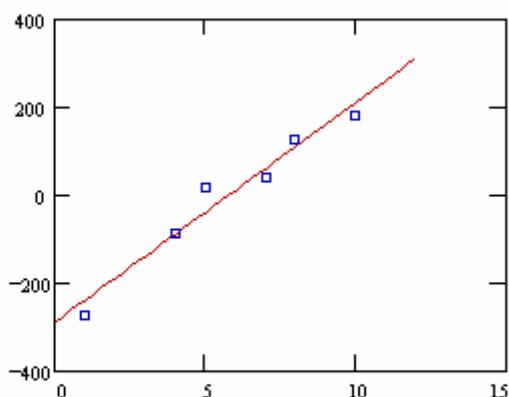


Figure 2 :

La figure 2 donne la variation de la direction du maximum de déplacement des franges au cours de l'année. La pente moyenne de la droite d'ajustement est deux fois 365,139 degrés par an, soit deux tours par an.

Conclusion :

Il est remarquable de constater que ces valeurs sont parfaitement conformes avec les analyses faites par Maurice Allais des mesures de Miller. La variation du rayon des anneaux de diffraction observés présente des anomalies tout à fait analogues à celles mises en évidence par Maurice Allais dans les mesures de Miller.

L'amplitude de la fluctuation journalière varie au cours de l'année selon une période de six mois. La direction du maximum de déplacement des franges tourne très exactement de deux tours par an.

Ce phénomène n'a pas été vu par ces expérimentateurs parce qu'ils ne cherchaient pas à observer ce phénomène, mais à mettre en évidence une éventuelle sensibilité du dispositif à la vitesse absolue de la Terre.

Leur processus de dépouillement, en cherchant à mettre en évidence cette vitesse a pratiquement éliminé le signal utile. Ils arrivent cependant à une vitesse moyenne de 24 ± 19 Km/s, qu'ils considèrent ensuite comme non significative.

Une analyse de l'ensemble de leurs résultats permet d'affirmer qu'ils ont réellement observé un phénomène non relativiste.

Comme tous les expérimentateurs, ils n'ont eu qu'un but : confirmer leur idée initiale, c'est-à-dire montrer qu'il est impossible de mesurer la vitesse absolue de la terre. Ils ont pu affirmer valablement qu'ils n'avaient pas réussi à mesurer cette vitesse, mais ils auraient dû reconnaître que leurs résultats n'étaient pas nuls, mais différents de ceux qu'ils attendaient.

L'article qu'ils ont publié montre clairement qu'ils ont mesuré un phénomène imprévu qui semble corroborer les analyses faites par Maurice Allais des mesures de Miller.

L'interféromètre de Georg Joos (1930):

Die Jenaer Wiederholung des Michelsonversuchs [7].

Description de l'interféromètre :

Il s'agit d'un interféromètre fonctionnant dans le vide et présentant un trajet optique de 21 m (figure 1). La source lumineuse est une raie spectrale de longueur d'onde 5461 \AA sélectionnée par un filtre adapté.

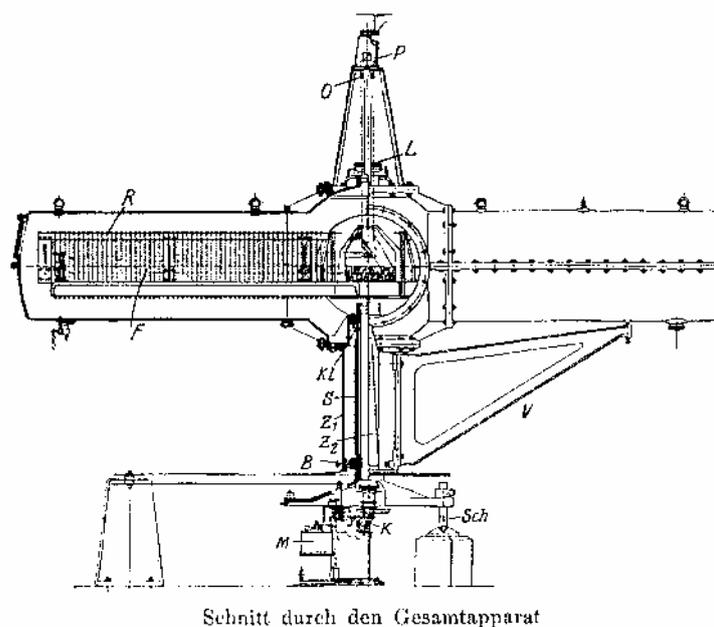


Figure 1 :

L'interféromètre est placé dans une enceinte à vide. La source lumineuse se trouve au dessus de celle-ci, un appareil photographique est situé dans le pied.

Le réseau de franges se forme sur un écran dans lequel une fente de 0,2 mm laisse passer la lumière vers la plaque photographique.

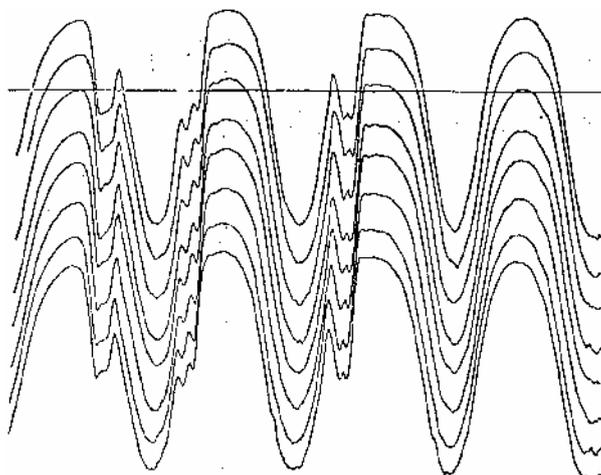
Un système mécanique permet de déplacer la plaque proportionnellement à la rotation de l'interféromètre. Un réglage permet de choisir de façon continue le rapport entre les rotations de l'interféromètre et le déplacement de la plaque photographique.

Sur 24 heures, cela correspond à 48 tours de l'interféromètre sur lesquels sont mesurés huit directions séparées de 45° et donc à 384 enregistrements.

Résultats :

La série présentée est celle du 10 mai 1930. Pour chaque tour de l'interféromètre, les interférences correspondant aux huit directions sont analysées par un photomètre (ou photodensitomètre). Un exemple de lecture est présenté figure 2.

Les positions des réseaux de franges sont mesurées par deux opérateurs. Les différences entre leurs mesures sont inférieures à 5/1000 de frange.

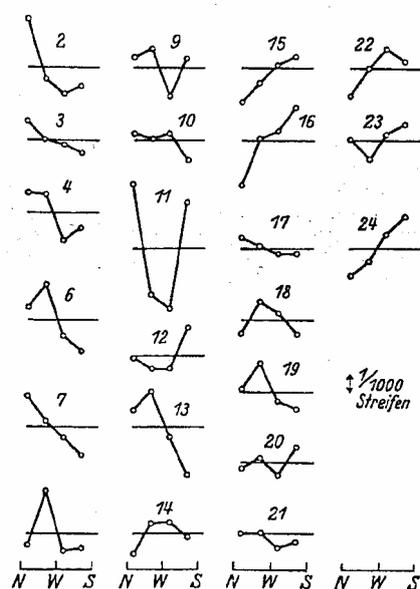


Registrierkurven der Interferenzstreifen von Platte 9

Figure 2 :

La moyenne des valeurs correspondant aux directions opposées est alors effectuée, puisque la période du signal attendu est de 180° .

Les résultats sont présentés sur la figure 3 :



Streifenverschiebungen bei der Drehung des Apparates. (Die angeschriebenen Himmelsrichtungen beziehen sich auf die Richtung des hervorgehobenen Armes)

Figure 3 :

Analyse faite par Joos :

Joos commence par une étude mathématique du problème. Il analyse d'un point de vue géométrique les caractéristiques de la composante horizontale de la vitesse de déplacement cherchée :

- a) Si la vitesse est dirigée vers le pôle, cette composante doit être constante et contenue dans le plan méridien,
- b) Si elle est dans le plan équatorial, elle doit tourner de 360° en un jour,
- c) Dans les autres cas, elle doit avoir une direction moyenne centrée sur le méridien.

Il déduit d'un traitement statistique des données non décrit qu'un vent d'éther ne doit pas être supérieur à la résolution de son traitement, estimé assez arbitrairement à 1/1000° de frange, alors que selon lui la vitesse supposée de 300 Km/s du Soleil aurait dû conduire à un déplacement de 38 franges.

Compte tenu de cela, il admet finalement que la vitesse éventuelle de déplacement de la Terre par rapport à l'Ether est au maximum de 1,5 Km/s. En effet :

$$\frac{300}{\sqrt{\frac{38}{0,001}}} = 1,5$$

Interprétation des résultats :

Il est certain que Joos n'a pas mesuré le vent d'Ether auquel il s'attendait. Contrairement à Miller, il a correctement pris en compte la variation attendue de cette vitesse au cours du temps.

Par contre, il semble bien qu'en raison de la lourdeur du dépouillement photographique il n'ait réellement dépouillé que la journée du 10 mai 1930. Par ailleurs, dans son article, l'évaluation du bruit de mesure est assez sommaire. Enfin, il n'a pas cherché à savoir si son dispositif avait mesuré autre chose qu'une *vitesse*. En particulier, faute de connaître de façon précise le mode de dépouillement des mesures qu'il a adopté, il n'est pas possible de dire s'il a observé une anisotropie différente de celle qu'il attendait, par exemple de direction fixe ou pratiquement fixe au cours de la journée.

La vitesse mesurée par Miller sur un très grand nombre de tours d'interféromètre et sur plusieurs périodes de l'année n'est pas de 330 Km/s, mais de 8 Km/s. Pour cet interféromètre moins sensible, le déplacement des franges aurait été de l'ordre de 1/30° de frange.

Il n'est donc pas sûr que les résultats de ces deux expérimentateurs soient contradictoires. Il faudrait toutefois expliquer l'origine des différences entre leurs résultats:

- Le fait que le dispositif ait fonctionné dans le vide ?
- La différence des schémas optiques ? (dans cet interféromètre, les sources et détecteurs sont alignés selon un axe vertical, ce qui peut avoir un effet sur la sensibilité).
- Une différence entre les méthodes de réduction des données ?

L'explication de cette anomalie nécessiterait une connaissance plus fine du travail de Joos. Les interféromètres de Michelson étaient d'une grande simplicité de conception et le bain de mercure les isolait mécaniquement du sol. En revanche, l'interféromètre de Joos était mécaniquement complexe, ce qui devait entraîner de nombreuses vibrations lors de sa rotation. Certain de la validité de la théorie de la relativité, Joos a-t-il réellement cherché à comprendre si ses résultats étaient réellement différents de ceux de Miller. S'est-il contenté d'avoir montré que son interféromètre ne mesurait pas la vitesse attendue de la Terre (330 Km/s) ? A-t-il réellement cherché à déterminer sa limite réelle de détection ?

Les autres expériences optiques:

L'interféromètre de Michelson n'a pas été le seul dispositif réalisé par les physiciens. Dans le but de mettre en évidence le mouvement de la Terre, ils ont imaginé bien d'autres méthodes. Nous allons les analyser rapidement.

Les déviations optiques observées par Ernest Esclangon (1927-1935) :

Monsieur Ernest Esclangon, directeur de l'observatoire de Strasbourg puis de celui de Paris, a mené deux grandes séries d'expériences visant à mettre en évidence d'éventuelles dissymétries optiques de l'espace.

En 1927, sa première communication, rendant compte des mesures faites à Strasbourg [8], met en évidence l'existence d'une anisotropie optique d'origine sidérale. En 1935, sa dernière communication, relative à l'expérience faite à Paris avec un dispositif plus précis mais différent, conclue à l'absence de tout phénomène décelable.

Depuis sa première communication, la théorie de la relativité avait été communément acceptée par les physiciens. La conclusion de sa seconde expérimentation a donc été admise sans discussion par la communauté scientifique, et l'origine des déviations observées à Strasbourg jamais élucidées.

Cette attitude résulte de la confiance aveugle que les physiciens accordent aujourd'hui à la théorie de la relativité, qui postule la constance et l'isotropie de la vitesse de la lumière. Toutefois, il est raisonnable de penser qu'une analyse critique des résultats d'Esclangon aurait dû être faite en toute objectivité, sans accorder à aucune théorie scientifique un crédit particulier.

Une analyse complète des différences entre les deux dispositifs expérimentaux utilisés à Strasbourg et à Paris ne manquerait pas d'intérêt. Toutefois, dans un premier temps, il est nécessaire chercher à savoir, dans un cas comme dans l'autre, si l'analyse des données expérimentales a pu être biaisée par ses idées a priori. Ce document se propose de faire une étude critique des méthodes d'analyse de données retenues par Esclangon au cours de ces deux campagnes de mesure et d'en montrer les différences.

Expériences de Strasbourg :

Cette première expérience présente une importance particulière car elle orientera les choix effectués lors de la seconde, réalisée à l'observatoire de Paris, mais qui a semblé contredire ces résultats et ainsi justifier la théorie de la relativité.

Présentation des résultats :

Cette expérience, bien décrite dans sa communication présentée à l'académie des sciences le 19 décembre 1927, a consisté à mesurer selon un protocole expérimental soigné, les différences de visées d'auto-collimation effectués sur une lunette astronomique lorsque son axe est dirigé dans les directions nord-ouest puis nord-est. Chaque valeur de déviation observée est la moyenne d'une suite de 25 à 29 couples de mesures.

Le seul résultat présenté dans cette communication est un graphique donnant la répartition, en fonction de l'heure sidérale, des 150 points représentant les moyennes des mesures correspondant à chaque séance d'observation (figure 1).

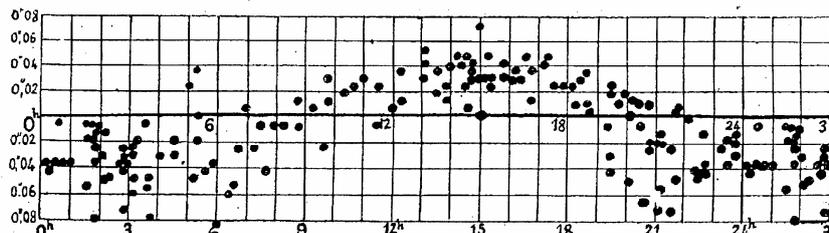


Figure 1 :

Conformément à l'hypothèse qu'il voulait vérifier, il constate que ces points ne sont pas répartis aléatoirement, mais au contraire mettent clairement en évidence une fluctuation de période un jour sidéral.

Il précise en 1928 la description de son expérience dans le journal des observateurs [9]. A cette occasion, il ajoute une figure qui montre, selon lui, une absence de fluctuation en temps solaire. La présence d'une fluctuation en temps sidéral semble ainsi parfaitement confirmée.

Critique des résultats :

A la lecture des comptes rendus à l'académie des sciences, les résultats d'Esclangon, malgré les apparences, sont moins convaincants qu'il n'y paraît à première vue. En effet, les points de mesure auraient dû être répartis uniformément dans le temps. Compte tenu des signaux recherchés, nous pouvons représenter les instants de mesure sous la forme d'un graphique à deux dimensions, la date en abscisse et l'heure solaire en ordonnées.

Sur ce graphique, les points de mesure auraient dû être uniformément répartis dans le plan, sans qu'aucun groupement de points ne puisse être observé, dans aucune direction, en particulier selon les axes verticaux, horizontaux et dans la direction diagonale correspondant à la constance des heures sidérales (figure 2).

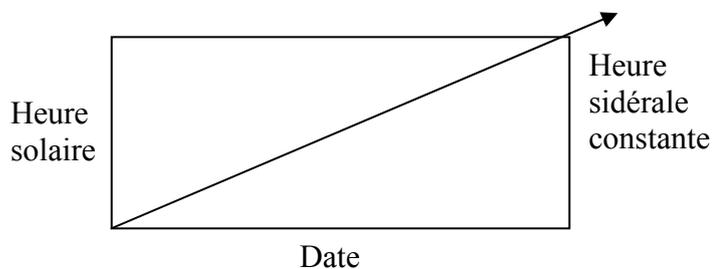


Figure 2 :

Selon le schéma précédent, le diagramme en trois dimensions des résultats d'Esclangon, la valeur des déviations observées étant codée en couleur, est le suivant (fig. 3):

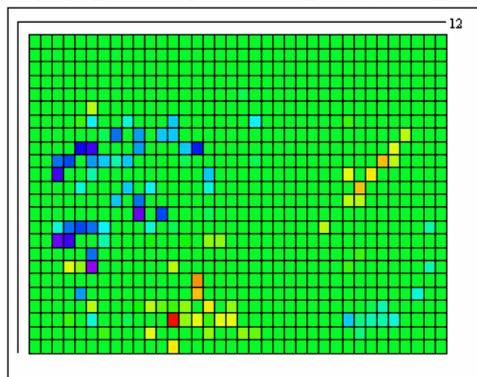


Figure 3 :

On observe bien une corrélation des mesures selon la diagonale, donc en temps sidéral. En indiquant le temps sidéral en ordonnées, ce diagramme devient (figure 4) :

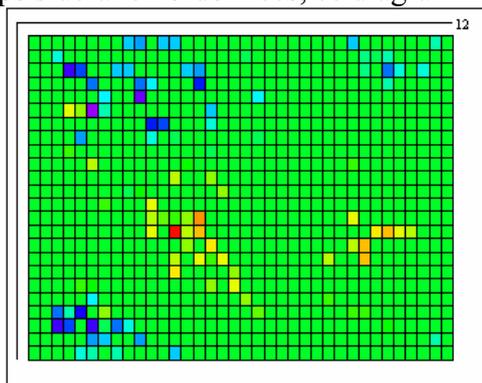


Figure 4 :

Ces deux figures tirées des mesures faites par Esclangon et publiées dans le journal des observateurs, démontrent la présence d'une variation en fonction du jour sidéral.

Expérience de Paris :

Ayant pris ses fonctions à l'observatoire de Paris, Esclangon a repris ses travaux avec un dispositif très différent, mais avec pour objectif de valider les résultats obtenus à Strasbourg.

Cette expérience est décrite dans une note à l'académie des sciences en date du 1^{er} avril 1935 [10]. Le dispositif expérimental permet de tracer sur une plaque photographique, en fonction de la direction du dispositif optique, deux traits dont l'espacement est fonction de la déviation optique observée dans le plan vertical.

Les enregistrements de deux clichés successifs ont eu lieu de dix jours en dix jours pendant 18 mois à 9h, 12h, 15h, 18h, 21h et minuit, soit sept clichés par jour. En fait, comme nous le verrons par la suite, l'absence de 3 heures du matin est sans doute due à une faute de frappe introduite lors de l'édition de son rapport. Nous obtenons donc 14 ou 16 clichés tous les dix jours, ce qui correspond aux quatre cent clichés en 18 mois annoncés.

Le processus de dépouillement est alors complexe. Sur chaque cliché, la distance moyenne entre les deux traces est mesurée, puis la valeur moyenne est supprimée pour éliminer les dérives expérimentales, ce qui interdit toute mesure de fluctuation à long terme.

Les sommes et différences des écarts angulaires de deux clichés consécutifs sont ensuite réalisées. Puisque les espacements moyens sont supprimés, ceci implique que ces résultats sont, pour chacun des 20 azimuts distants de 18°, les sommes et différences des variations angulaires observées entre les deux clichés successifs.

Calcul en temps solaire :

Une première table donne les valeurs des moyennes faites par Esclangon en heure solaire, ce qui donne 8 points de mesure par jour. Ces mesures peuvent être représentées sur le graphique suivant (figure 10).

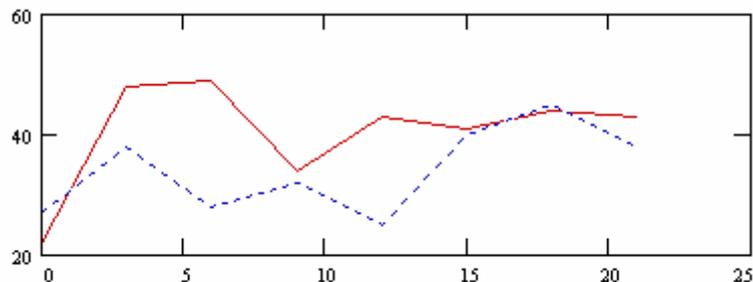


Figure 10 :

La courbe en traits pleins correspond à la somme, supposée contenir le signal à observer, la courbe en pointillés correspondant à la différence, donc au seul bruit de mesure. Les moyennes calculées par Esclangon sont de 40 pour la somme et de 34 pour la différence.

Tous les résultats étant positifs, nous devons admettre que les moyennes angulaires portent sur les valeurs absolues des écarts observés. En effet, un processus différent conduirait à des sommes en moyenne nulles, ce qui n'est pas le cas. De plus, comme cela a été dit, il faut admettre que les moyennes des mesures sont faite direction par direction sur tous les couples de clichés, soit en moyenne 25 couples par séance de mesure.

Contrairement à la conclusion finale d'Esclangon, les résultats présentés dans ce graphique en temps solaire, s'expliquent par une anisotropie optique de direction fixe en temps solaire. La différence significative entre les moyennes générales faites sur la totalité des mesures correspond à un rapport signal sur bruit faible qu'il est possible d'estimer en supposant que le signal et le bruit s'ajoutent quadratiquement. La valeur de cette déviation serait alors dans les unités d'Esclangon de 22, soit 1/1000 de seconde d'arc.

Calcul en temps sidéral :

Une somme des valeurs de déplacement angulaires correspondant aux heures sidérales (maintenant faite toutes les heures sidérales) est présentée dans un second tableau qui conduit au graphique suivant (figure 11).

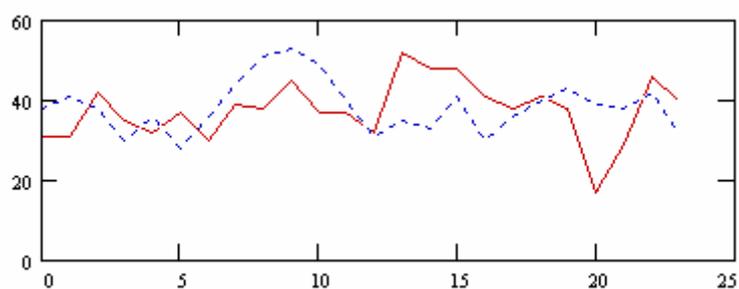


Figure 11 :

Les moyennes des niveaux des signaux somme et différences deviennent 37,5 pour la somme et 38,5 pour la différence. Elles sont donc quasiment identiques. Ces résultats surprenants sont toutefois parfaitement explicables.

En effet, les sommes temporelles sont faites maintenant sur les échantillons décalés en fonction de l'écart entre temps sidéral et temps solaire. De plus, le nombre d'échantillons dans chaque classe est trois fois plus faible, puisque le nombre de somme est 24 au lieu de 8.

Il en résulte que la variation journalière est moyennée par la sommation initiale et, de plus, que l'effet du bruit sur chaque échantillon est augmenté.

Ce second procédé de traitement aurait été optimisé pour la détection d'une variation liée à l'heure sidérale, mais élimine une variation liée à l'heure solaire.

Avec ce nouveau dispositif optique, Esclangon a bien démontré l'inexistence d'une variation sidérale de la déviation optique qu'il avait observé à Strasbourg, mais que des variations journalières sont présentes, même s'il ne les a pas remarquées.

Conclusion :

Une analyse approfondie des résultats publiés par Esclangon montre à l'évidence que la conduite de ses deux expérimentations a été guidée par un objectif à priori : déterminer la valeur d'une influence sidérale présumée de l'anisotropie optique.

Dans la seconde expérimentation, réalisée à Paris avec un dispositif plus performant mais de conception très différente, Esclangon pense avoir démontré, conformément aux concepts théorique généralement acceptés, l'absence du phénomène observé à Strasbourg. Il semble bien qu'avec le dispositif de Paris, il ait raison sur ce point. En revanche, il détecte clairement une variation journalière, seule capable d'expliquer le tableau correspondant au temps solaire. Toutefois, comme l'existence d'un tel phénomène lui semblait exclue, il n'a même pas cherché à l'identifier, alors même qu'il avait démontré son existence, puisque la puissance du signal somme est très clairement supérieure à celle du signal différence.

Pourquoi ne pas admettre que ses deux expériences ont démontré existence de deux variations, l'une sidérale, l'autre journalière résultant de deux phénomènes physiques différents ? Pourquoi une lunette astronomique et un système optique catadioptrique se comporteraient-ils de la même façon ?

Le fait d'être arrivé à ces conclusions sans analyser les deux dispositifs expérimentaux ni faire appel à une théorie scientifique particulière, mais par une simple analyse du processus statistique de réduction des données, leur donne une objectivité aussi parfaite que possible.

N'oublions pas qu'en analyse de résultats expérimentaux, comme dans toute analyse de données statistique, des artéfacts sont très souvent produits, mais à contrario que l'on ne se méfie jamais assez des méthodes statistiques qui peuvent occulter des phénomènes inattendus ou introduire des biais statistiques dans les résultats.

Nous verrons plus loin que les différences entre les conclusions tirées par Esclangon de ses deux séries d'expérience de Strasbourg et de Paris auraient pu être expliquées sur la base des théories connues au début du vingtième siècle. Compte tenu de la grande qualité de son travail et de celle de ses comptes rendus, il faut prendre en compte sur un même plan ses deux résultats qui ne sont qu'en apparence contradictoires.

Les expériences de Maurice Allais (1958-1959):

Ces expériences sont parfaitement décrites dans son livre sur l'anisotropie de l'espace [4]. Ses résultats y sont décrits de façon très précise. Je ne reprendrai donc pas ici l'exposé. Il est malheureux que ces expérimentations aient été interrompues prématurément pour des raisons financières. Conduites par des expérimentateurs confirmés, elles induisaient des charges de personnel importantes. Par ailleurs, la communauté scientifique, persuadée de la valeur absolue de la théorie de la relativité, ne souhaitait pas contribuer à ce type de recherche.

Nous ne disposons donc pas d'autant de mesures que nous le souhaiterions, et en particulier, comme cela est le cas d'Esclangon, de mesures réparties sur une année entière, ce qui aurait donné aux conclusions de Maurice Allais beaucoup plus de poids.

Les mesures de Vincent Morin(2004-2006):

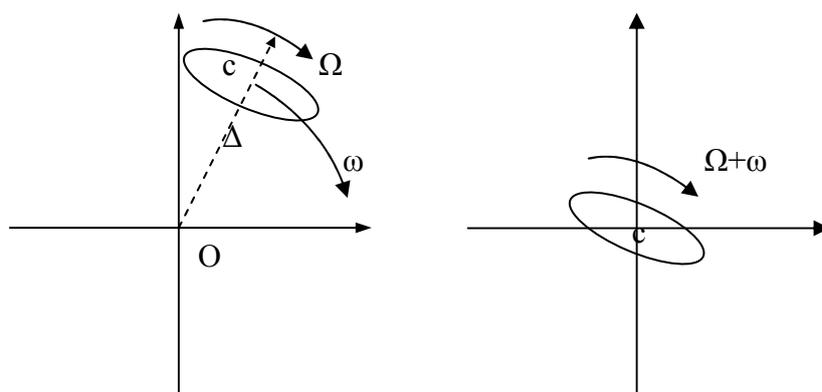
Les premières mesures de Vincent Morin sont disponibles sur son site. Depuis juin 2004, deux années entières de mesures effectuées à Brest ont été enregistrées. D'autres ont été faites en Roumanie, dans la mine de Cacica.

Le dispositif utilisé par Vincent Morin est extrêmement simple. Le signal lumineux d'une diode LASER est transmis au travers d'une optique à un imageur situé à une distance proche du mètre. Un traitement d'image permet de mesurer les déplacement au cours du temps de la tâche lumineuse émise par la diode laser avec une très grande précision, la résolution étant bien meilleure que le microradian.

Bien évidemment, de nombreux phénomènes physiques influent sur l'alignement optique des dispositifs. Il est naturel de citer les variations de température, les vibrations mécaniques, le relâchement des contraintes mécaniques présentes dans les matériaux mais aussi des éventuelles anisotropies optique de l'espace.

Faute d'une publication complète des résultats de Vincent Morin, il est seulement possible d'affirmer que ses mesures mettent en évidence la présence dans les déviations optiques résultant de phénomènes non encore expliqués. En particulier, on observe une composante de fréquence un jour solaire, dont l'amplitude est différente selon la direction de propagation de la lumière.

A première vue, le fait que la période de cette déviation optique soit strictement un jour solaire peut sembler contradictoire avec les observations de Miller. En réalité, il n'en est rien comme la figure suivante va le montrer.



Considérons la figure de gauche qui représente l'hodographe tracé par Maurice Allais. L'ellipse correspondant à l'hodographe à une époque donnée est symétrique par rapport à la droite Δ qui tourne d'un tour par an autour de l'origine O, à la vitesse angulaire ω . Au cours d'une journée, le vecteur représentant la vitesse mesurée par l'interféromètre tourne le long de l'ellipse en synchronisme avec l'heure sidérale, donc à la vitesse de rotation de la Terre Ω .

Si maintenant nous supprimons les fluctuations à long terme de cette vitesse pour ne conserver que les variations journalières, l'hodographe devient celui de la figure de droite, l'ellipse étant maintenant centré sur l'origine et tournant à la vitesse ω . Par rapport au centre c de ce nouvel hodographe, le vecteur vitesse tourne à la vitesse $\Omega+\omega$. Au lieu de tourner en un jour sidéral dans le repère lié à la droite Δ , il tourne en un jour solaire autour du centre c de ce nouvel hodographe.

Malgré l'absence d'une théorie physique validée, tout incite à croire que les déviations périodiques des faisceaux lumineux observés par Vincent Morin et les anisotropies observées par l'interféromètre de Miller résultent de l'influence du même phénomène physique.

Contrairement aux apparences, la présence de déviations optiques synchrones du jour solaire est parfaitement cohérente avec le fait que les hodographes de Maurice Allais soient parcourus en un jour sidéral.

Ces deux séries d'expériences sont donc parfaitement cohérentes.

Improved Laser Test of the Isotropy of Space : A. Brillat and J. L. Hall (1978).

Cette expérience consistait à mesurer l'éventuelle dérive de la fréquence d'une cavité Fabry-Perot en fonction de son orientation [11].

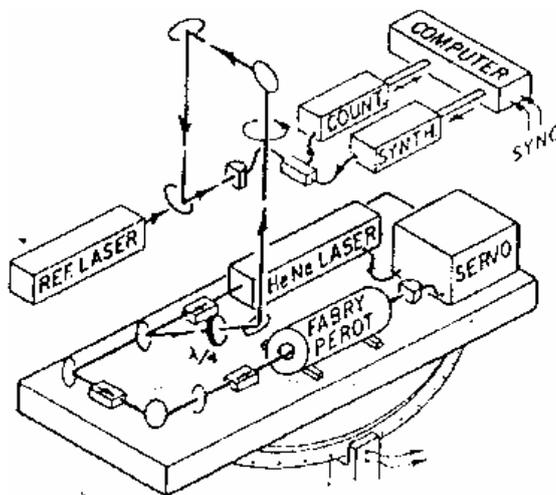
Les auteurs rappellent les résultats de Joos qui donneraient un déséquilibre de l'interféromètre inférieur à 3.10^{-11} .

Ils citent ensuite Javan et Towes qui auraient fait les premières mesures sur un interféromètre de Michelson éclairé avec un LASER (sans doute Hélium Néon comme dans les expériences décrites dans l'article). Une dérive de 275 kHz avait été observée sur une rotation, mais l'explication donnée de ce phénomène n'est sans doute pas la seule possible.

Description de l'expérience :

Un dispositif astucieux permet de stabiliser un LASER He-Ne sur la fréquence de résonance d'un Fabry-Perot. Sur une table tournante, la longueur d'onde d'un LASER est asservie à la fréquence de résonance d'une cavité Fabry-Perot. Le signal de ce LASER bat avec un autre LASER fixe. La fréquence de battement entre ces deux LASERS est mesurée en permanence, une valeur moyenne étant calculée toutes les 30 minutes. Ceci conduit donc à 48 points de mesure par jour.

Le dispositif expérimental tourne autour d'un axe vertical. En effet, l'installation du dispositif sur une dalle de granit de 95cm x 40cm x 12cm semble exclure l'utilisation d'une monture équatoriale dont la réalisation aurait été très difficile.



Une dérive de 50 Hz par seconde est observée ainsi qu'une variation de 200 Hz crête à crête à la fréquence de rotation de la table. Le traitement ne conserve que la composante à la fréquence attendue, deux périodes par tour de la table. La majorité des mesures sont faites dans une période de 50 jours.

Selon l'article, le résidu à la fréquence de deux périodes par tour est de 17 Hz, est traité comme un vecteur vitesse et reporté dans le repère local et dans un repère sidéral. La figure 2 donnant ces mesures pour une journée, soit en fait pour la journée considérée 44 points.

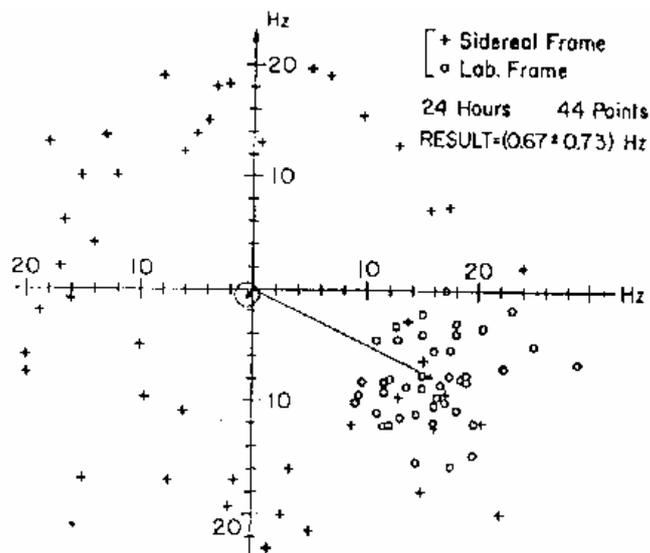
Compte tenu de ce traitement, le résultat serait $(3\pm 5).10^{-15}$ au lieu des $0,5.10^{-8}$ attendus.

Discussion :

Cette expérience a été menée d'une façon tout à fait conforme à la tradition. Les expérimentateurs avaient à valider une théorie bien établie. Ils ont trouvé une fluctuation de 200 Hz à une période non attendue. Ils ont proposé une explication satisfaisante, mais cette fluctuation aurait pu être due à d'autres phénomènes comme une variation de la longueur du chemin optique entre la table et le LASER de référence.

Cette fréquence de fluctuation de 200Hz correspond à une vitesse de déplacement de $200 \times 3,39 \mu/s$, soit 0,68mm/s, mais elle pourrait également faire partie des signaux utiles fournis par le dispositif.

Les résultats présentés sur la figure 2 méritent une analyse approfondie. Elle présente les mesures obtenues toutes les demi heures pendant une journée, soit en fait 44 points de mesure. Les petits cercles représentent ces mesures dans le repère local. Elles sont assez bien groupées, comme les points des hodographes tracés par Maurice Allais à partir des mesures de Miller.



Par contre, le passage au repère sidéral est quelque peu suspect. Alors que les hodographes peuvent valablement être tracés en heure sidérale, le passage au repère sidéral n'est pas expliqué. Si le dispositif avait été installé sur une monture équatoriale, un changement de repère aurait pu être fait, et les mesures reportées dans un repère sidéral. Or, dans la mesure où la table est horizontale, la cavité de Fabry-Perot ne tourne pas dans un plan de ce repère. Il est donc impossible de déterminer les mesures d'anisotropie qui auraient été faites dans ce plan. Le dispositif est donc incapable de fournir des mesures relatives au repère sidéral. En fait, la correspondance entre les deux mesures semble être seulement une rotation des mesures en fonction de l'heure sidérale. Le traitement supposerait implicitement le dispositif dans le plan équatorial et l'axe de rotation de la table parallèle à l'axe de rotation de la Terre, ce qui n'est pas le cas.

Le seul rôle du traitement serait alors de détruire la cohérence des mesures visible sur la figure 2. La moyenne des mesures est alors statistiquement nulle. Un même traitement effectué sur les mesures de Miller auraient conduit à une vitesse nulle de la Terre.

Si les expérimentateurs n'avaient pas cherché à montrer qu'il est impossible de mesurer la vitesse absolue de la Terre, ils auraient conduit les traitements d'une façon

différente et seraient peut-être arrivés à une conclusion différente. Ils auraient observé un décalage de l'ordre de 20Hz au lieu de $0,67 \pm 73\text{Hz}$ annoncés, soit 30fois plus.

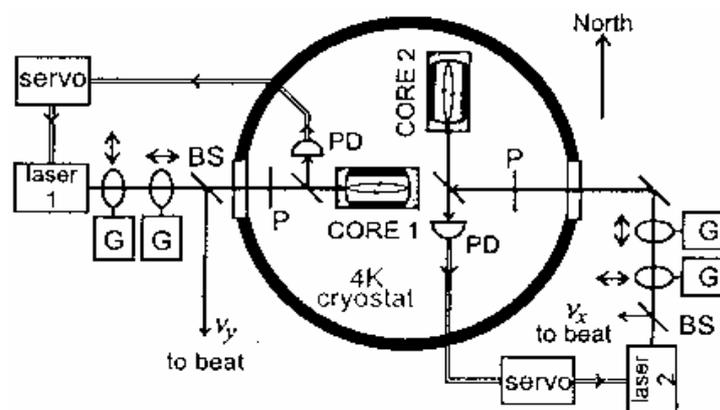
Les interféromètres modernes :

Des interféromètres modernes, de conception nouvelle ont été réalisés depuis quelques années, mais avec des objectifs nouveaux.

Modern Michelson-Morley Experiment using Cryogenic Optical Resonators (2003)

Holger Müller, Sven Herrmann, Claus Braxmaier, Stephan Schiller and Achim Peters"

Cette expérience a été menée dans des conditions exceptionnelles. Deux résonateurs de Fabry-Perot sont placés dans un cryostat refroidi dans l'hélium liquide [11]. Leurs directions sont Nord-sud et Est-ouest.



La fréquence de chaque LASER est asservie à la fréquence de résonance d'un Fabry-Perot. De plus, le couplage entre le LASER et la cavité Fabry-Perot est optimisé par des asservissements selon les axes verticaux et horizontaux maximisant le couplage avec la cavité.

La rotation de la Terre réalise la rotation du dispositif par rapport à l'espace. La mesure correspond donc à une modulation temporelle de l'anisotropie produite par cette rotation. Comme dans le cas précédent, il est difficile de dire qu'il s'agit d'une mesure d'anisotropie de l'espace puisque le dispositif ne tourne pas dans un plan, mais sur un cône.

La dérive correspondant à la période recherchée serait de $0.73 \pm 0.48 \text{ Hz}$, la fréquence des LASERS étant $2,82 \times 10^{14} \text{ Hz}$, soit de l'ordre de 10^{-15} .

Discussion :

Cette expérience est de très grande qualité. Elle montre que la fréquence d'une cavité est en moyenne indépendante de son orientation, la variation résiduelle observée étant de l'ordre de 10^{-15} .

Ce document pose toutefois de nombreuses questions :

- La moyenne des mesures a été faite en temps sidéral. Nous avons vu que cette question est fondamentale et que les résultats des sommations en temps solaire et en temps sidéral peuvent qu'être très différents. Les six fréquences recherchées par ces expérimentateurs correspondent à un phénomène sidéral modulé, la fréquence de modulation étant annuelle. L'analyse que nous avons faite des autres expériences nous avait conduit à admettre l'existence d'un signal liée au temps

solaire, avec une modulation éventuelle de période six mois. Aucune des fréquences correspondant à ce modèle ne font partie des fréquences étudiées.

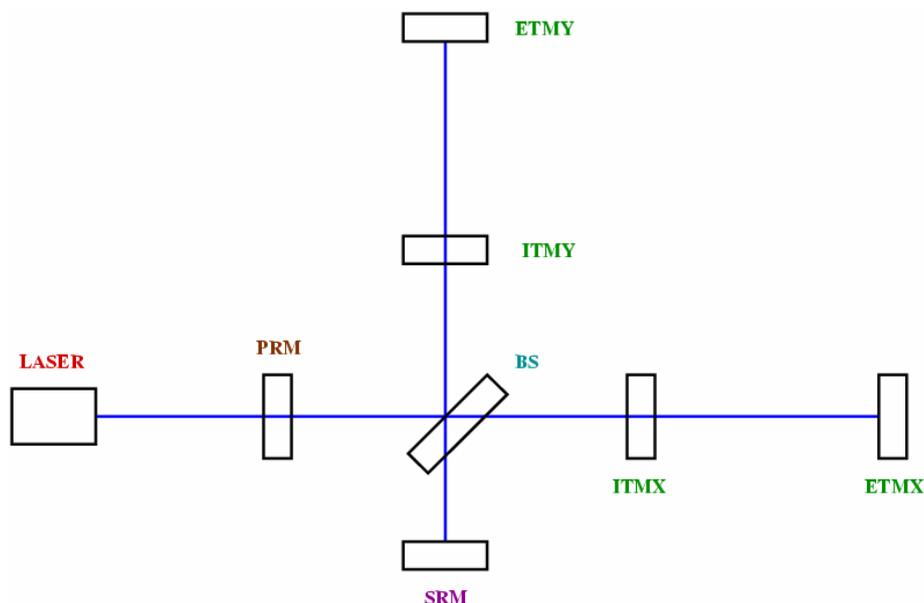
- Quel est l'effet des différents asservissements ? La fréquence des cavités aurait-elle été aussi stable en l'absence de ces asservissements ?

Enfin, il est parfaitement évident que ce dispositif n'est pas un interféromètre de Michelson. Les deux dispositifs ne sont en aucun cas équivalents aux deux bras de l'interféromètre de Michelson qui ne sont pas des cavités résonnantes.

Il est donc clair que les résultats de cette expérience ne peuvent être opposés aux résultats précédents, car le dispositif est totalement différent. De plus, en admettant que ce nouveau dispositif expérimental soit équivalent à un interféromètre de Michelson, le mode de dépouillement adopté ne permettrait pas de détecter les signaux qui ont été observés par ces interféromètres, en particulier par celui réalisé par Miller.

Les grands Interféromètres (LAL, VIRGO):

Ces interféromètres sont constitués en fait de deux grandes cavités de directions orthogonales. Leur schéma de principe est le suivant :



Dans cette figure de principe, une des deux cavités est constituée par les miroirs ETMX et ITMX qui constituent un résonateur. L'autre cavité est constituée par les miroirs ETMY et ITMY.

Ces deux cavités remplacent les bras d'un interféromètre de Michelson. La lame semi réfléchissante à 45° est la lame BS. La source de lumière est le LASER, le détecteur est le bloc SRM.

La lame PRM est un élément nouveau qui a pour rôle de faire recirculer l'énergie du Laser réfléchi par le dispositif, transformant ainsi le dispositif entier en cavité résonnante.

Il existe dans l'interféromètre VIRGO bien d'autres dispositifs qui contribuent au contrôle, au sens anglo-saxon, de l'interféromètre. Nous n'aborderons pas la description en dynamique de son fonctionnement, en présence d'un équilibrage imparfait de l'interféromètre et de fluctuations des dimensions mécaniques et de la longueur d'onde du LASER. Ceci n'est pas nécessaire à notre propos.

Ces interféromètres ont été construits dans le but de détecter d'éventuelles ondes de gravité prédites par la théorie de la relativité. Le plus grand d'entre eux, VIRGO réalisé à Cascina, près de Pise, par le CNRS et l'Institut national italien de physique nucléaire, a des bras de 3 Km de long.

Ces appareils sont d'une complexité extrême. Leurs très grandes dimensions devraient leur donner une très grande sensibilité, cependant, ils subissent des limitations résultant de nombreux phénomènes parasites.

En particulier, les vibrations sismiques, les marées terrestres et les dérives thermiques doivent être compensées par des asservissements. Compte tenu des nombreuses limitations technologiques, les fréquences observables sont limitées à la bande 10Hz -10KHz.

Ces interféromètres ne peuvent donc être d'aucun secours pour mesurer d'éventuelles anisotropies optiques dont les fluctuations seraient journalières ou même annuelles.

Les caractéristiques communes de ces interféromètres :

Ces interféromètres bénéficient des apports de la technologie moderne. Ils utilisent en particulier des sources LASER, de performances bien supérieures aux sources utilisées au début du vingtième siècle.

Il faut toutefois se souvenir qu'ils ne sont pas des interféromètres de Michelson. En fait, ils mesurent les éventuelles différences de fréquence d'accord entre deux cavités orthogonales. Dans un interféromètre de Michelson, une source est observée au travers d'un dispositif complexe dans lequel deux trajets optiques quasiment superposés interfèrent.

Dans un interféromètre moderne, on observe le décalage en fréquence de deux cavités orthogonales. Ce décalage de fréquence d'accord produit une variation du coefficient de réflexion mesuré par interférométrie, ce qui est très différent.

Rien ne permet d'affirmer que ces interféromètres seraient sensibles à une anisotropie de la vitesse de la lumière de la même façon qu'un interféromètre de Michelson.

Synthèse finale:

Ce rapide survol des résultats obtenus par les physiciens depuis l'expérience historique de 1881 montre que ceux-ci ont travaillé en ordre dispersé et sans coordination. Les comptes rendus qu'ils ont publiés sont souvent insuffisamment précis pour qu'il soit possible de savoir exactement quels résultats ils ont obtenus.

Le plus souvent, ils ont cherché à valider une théorie, mais n'ont pas hésité à faire des impasses théoriques, négligeant d'expliquer les anomalies constatées. Il leur a sans doute manqué un avocat du diable contestant en permanence, mais avec courtoisie, la valeur de leurs analyses.

On a souvent classé les expériences en deux catégories : celles qui ont donné un résultat positif et contestant la relativité et celles ayant donné un résultat négatif, donc vérifiant cette théorie. Pour la science moderne, les premières ont été faites par des chercheurs sincères, mais correspondent à des artefacts. Il n'est alors pas nécessaire d'examiner leurs résultats avec attention. Seules les secondes méritent d'être considérées.

Ce jugement me semble devoir être nuancé. La lecture des comptes rendus publiés par les expérimentateurs montre que les résultats des uns et des autres sont loin d'être aussi contradictoires qu'on le dit :

- Tous les interféromètres de Michelson dont le schéma optique est celui de l'interféromètre initial ont donné des résultats comparables. Seul l'interféromètre de Joos, fonctionnant dans le vide et dans lequel la source et le détecteur sont alignés sur un axe vertical semble avoir eu un comportement différent, mais ses résultats doivent être regardés avec prudence. Le schéma optique différent de celui-ci suffirait sans doute à justifier un fonctionnement différent, mais bien

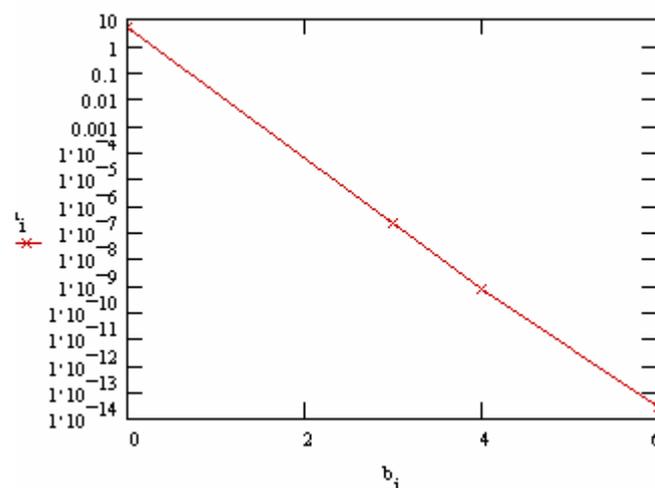
d'autres questions mériteraient une analyse aujourd'hui impossible. Le décalage des franges observé par les autres interféromètres de Michelson est de l'ordre de 8×10^{-10} .

- L'interféromètre de Roy et Kennedy a un chemin optique de l'ordre de seulement 500.000 longueurs d'onde. Un déplacement des franges de 0,35 millièmes de frange correspond alors à une variation relative de vitesse de la lumière de 7×10^{-10} . Contrairement aux apparences, ses résultats sont tout à fait comparables à ceux des interféromètres de Michelson.
- La valeur des déviations optiques journalières observées par Maurice Allais en 1959 était pour le cycle de 12h de l'ordre de $2,4 \times 10^{-7}$ radians. Les premières mesures de Vincent Morin sont tout à fait comparables. Par contre, les mesures faites par Esclangon à Paris ne seraient que de l'ordre de 7×10^{-10} , mais le dispositif fonctionne sur un aller-retour et non sur un trajet unique comme les dispositifs précédemment étudiés.
- L'expérience de Brilliet et Hall conduirait à un décalage de 3×10^{-14} , et non de la valeur $1,5 \times 10^{-15}$ annoncée, proche de celle donnée par Müller en 2003 qui est sans doute calculée de la même façon.
- Enfin, il ne faut attendre aucune contribution des grands interféromètres modernes qui n'ont pas le même objectif. Ils ont été construits pour mesurer l'effet du passage d'éventuelles ondes de gravité mais sont de toute façon incapables de mesurer une anisotropie optique statique de l'espace.

Des similitudes surprenantes :

Alors que tous les expérimentateurs n'ont pas tiré les mêmes conclusions de leurs expériences, la cohérence des résultats obtenus par les différentes classes de dispositifs est saisissante (à l'exception des mesures faite par Esclangon à Strasbourg sur lesquelles nous reviendrons). Il reste cependant à expliquer les différences entre les classes de dispositifs.

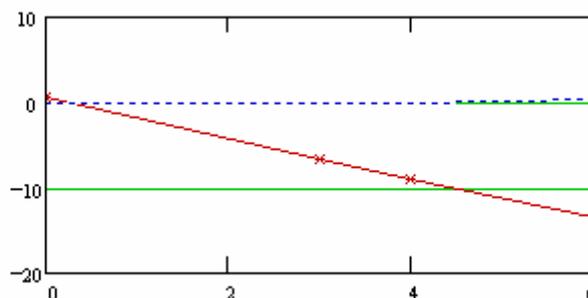
Le graphique suivant présente en ordonnées les valeurs moyennes observées pour les différents types de d'expérience et en abscisses les nombres entiers 3,4 et 6.



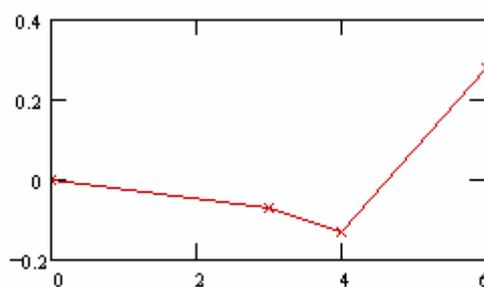
En échelle logarithmique, les points sont pratiquement alignés, ce qui devrait être expliqué. L'équation de cette droite est alors :

$$a = 5 \cdot 260^{-b}$$

Les mesures peuvent donc être présentées en fonction du paramètre b :



La courbe en pointillés est l'écart entre la droite et les points de mesure. Avec une échelle dilatée, cet écart est :



L'alignement de ces points est une propriété remarquable que les physiciens n'ont pas remarquée. En effet, relativistes ou non relativistes, chacun d'eux avait voulu prouver une théorie et avait implicitement mené le dépouillement de son expérience en fonction du résultat à démontrer.

Ce n'est qu'en effectuant une analyse des données, sur la base de seuls critères de traitement statistique, et en refusant l'intrusion de quelque théorie physique que ce soit qu'il était possible de découvrir cette propriété remarquable.

Une réalité sous jacente :

Le présent article s'était donné comme but d'analyser l'ensemble des expériences optiques ayant contribué au débat passionné sur la théorie de la relativité qui a occupé la première partie du vingtième siècle. Certaines de ces expériences ont été à l'origine de cette théorie. Une fois la théorie de la relativité acceptée, d'autres expériences sont venues confirmer sa validité. De rares physiciens ont continué à chercher à déterminer ses limites, voire même à la réfuter purement et simplement.

L'étude des résultats réels de expériences optiques analysées nous oblige à une révision complète de nos jugements. Contrairement à ce qui est affirmé dans les ouvrages scientifiques modernes, les résultats de l'ensemble de expériences semblent à la fois non nuls et cohérents entre eux. Quelles que soient les conclusions des expérimentateurs, leurs mesures présentent des similitudes saisissantes. Il est vraisemblable que si une querelle théorique n'avait pas influencé leur jugement, l'ensemble des physiciens serait arrivé à des conclusions communes et que la connaissance scientifique aurait bien davantage progressé qu'elle ne l'a fait depuis le début du vingtième siècle.

Toujours sans faire appel à une quelconque théorie physique, de façon à éviter toute polémique, analysons plus avant l'ensemble des résultats expérimentaux dont nous disposons.

Nous avons observé une relation surprenante entre les ordres de grandeurs des divers phénomènes observés. L'alignement des points de mesure sur les puissances négatives de 260 pourrait-il avoir une signification physique ?

Supposons donc que les mesures optiques faites avec les différents dispositifs analysés dans ce document découlent d'un même phénomène physique. Le signal détecté par chaque dispositif étant extrêmement petit, il est normal qu'il puisse être approximé par un terme d'ordre n d'un développement limité.

Les ordres de ce terme seraient les suivants :

- 3 pour les déviations optiques,
- 4 pour les interféromètres de Michelson,
- 6 pour les cavités.

Le paramètre fondamental, $1/260$ reste à expliquer, ce qui ne pourra être fait sans une théorie physique et des nouvelles mesures de déviations optiques et de véritables interféromètres de Michelson de technologie moderne.

Considérons les ordres de grandeur des phénomènes observés :

Déviations optiques et cavités :

Les expériences de déviation optique correspondent à des trajets de la lumière unidirectionnels. Le comportement des cavités ou l'auto collimation correspondent à des trajets aller et retour. Nous savons bien que dans la transformation de Lorentz, une variation de vitesse en v/c sur un trajet direct conduit à un terme en v^2/c^2 sur un trajet aller retour.

Il est donc tout à fait naturel qu'un phénomène conduisant sur un trajet direct à un terme d'ordre trois conduise sur un aller retour à un terme d'ordre six, c'est-à-dire le carré de l'effet observé sur le trajet direct.

Ceci suppose que les déviations optiques correspondent à des termes d'ordre trois de ce paramètre inconnu, sans doute homogène à v/c .

Interféromètres de Michelson :

Ces équipements sont différents, mais, à priori, ils auraient pu entrer dans l'une des catégories précédentes. En fait, ils ne le pouvaient pas car ils ont été conçus de façon à privilégier les termes quadratique. De plus, alors même que les expérimentateurs sérieux comme Miller ont remarqué la présence systématique de termes d'ordre un et trois en fonction de la rotation de l'interféromètre, ils n'ont étudié que le terme d'ordre deux correspondant à l'analyse théorique préexistante du dispositif, qu'ils n'ont pas remise en cause au vu des résultats de l'expérience.

L'interféromètre mesurant l'écart entre deux trajets aller retour, donc d'ordre pair en v/c , il est naturel que le résultat soit d'ordre quatre par rapport à ce paramètre inconnu homogène à v/c . Seule une théorie physique permettrait de comprendre pourquoi cet ordre de grandeur est quatre et non deux ou six.

Auto collimateurs :

Les deux séries de mesures d'Esclançon ont conduit à des résultats très différents. Les mesures de Paris ont certainement mis en évidence un terme lié au jour solaire analogue à celui observé sur les cavités optiques. Par contre, les mesures de Strasbourg sont très différentes, les variations angulaires observées étant clairement d'origine sidérale.

Ceci semble pouvoir s'expliquer par la nature très différente des deux dispositifs expérimentaux. Le dispositif parisien était catadioptrique alors que celui de Strasbourg était

principalement constitué d'une lunette astronomique. Ils diffèrent donc par la présence ou l'absence de milieu optique d'indice élevé sur le trajet des rayons lumineux.

En effet, nous savons que l'entraînement des ondes lumineuses par les diélectriques peut être calculé de deux façons différentes :

- Par la formule de Fresnel, qui peut être établie sur la base de considérations physiques sur la propagation de la lumière dans les diélectriques.
- Par application de la formule de correspondance des vitesses résultant de l'utilisation de la transformation de Lorentz.

Hors il se trouve que ces deux formules, identiques au premier ordre, sont différentes au troisième ordre. Si la formule de Fresnel est exacte, une déviation optique d'ordre trois en v/c doit apparaître dans un système optique contenant des diélectriques, alors qu'aucun effet ne serait observable avec un système ne faisant appel qu'à des miroirs.

Admettre que les résultats de l'expérience de Strasbourg ont été infirmés par l'expérience faite ultérieurement à Paris n'est donc pas sérieux. Il est naturel que deux dispositifs différents donnent des résultats différents.

Il est donc parfaitement possible que parmi l'ensemble des expériences conçues pour mesurer la vitesse absolue de la Terre, seul le dispositif utilisé par Esclangon à Strasbourg ait été adéquat et ait donné un résultat qui reste à interpréter. L'expérience optique faite par Esclangon à Strasbourg est sans équivalent et ne peut être directement comparées à aucune autre.

Conclusion :

Au sein du petit cercle de scientifiques qui continue à s'intéresser aux origines de la théorie de la relativité, certains s'interrogent sur la valeur des expériences sur lesquelles cette théorie a été construite. Dans son livre consacré à « *L'anisotropie de l'espace* », le professeur Maurice Allais décrit ses propres expériences mais aussi un certain nombre d'expériences optiques qui ont mis en évidence des phénomènes qui semblent contredire les axiomes de la théorie de la relativité. Il en conclut que cette théorie est fautive et doit donc être rejetée, mais toutefois sans proposer une théorie alternative rendant mieux compte des phénomènes physiques réels.

Pour l'immense majorité des physiciens modernes, la théorie de la relativité est une théorie fondamentale qui ne saurait être contestée sérieusement. Selon eux, les expériences anciennes mettant en cause la théorie de la relativité ont été conduites dans des conditions peu satisfaisantes et leurs résultats ne sont pas significatifs. Ils accordent par ailleurs un grand crédit à d'autres expériences, souvent plus récentes, qui leur semblent avoir définitivement balayé toutes les objections qu'il était possible d'avancer contre cette théorie.

Il était donc intéressant de faire une analyse critique de toutes les expériences citées habituellement, quelles qu'aient été les conclusions de leurs auteurs, de façon à savoir s'il est réellement possible d'affirmer que le débat est clos.

Je dois dire qu'au cours de cet examen, je suis allé de surprise en surprise. Avec les premiers interféromètres de Michelson, les expérimentateurs ont voulu mesurer la vitesse absolue de la Terre. Après un premier échec, ils ont perfectionné leurs équipements sans remettre en cause ni le principe de fonctionnement de l'interféromètre, ni leurs objectifs.

Parallèlement, les idées de Lorentz ont conduit Poincaré puis Einstein à développer la théorie de la relativité. Les partisans et les adversaires de cette théorie se sont alors affrontés.

Les expériences ont alors été classées en deux catégories : celle démontrant la validité de la théorie de la relativité et celles la contredisant. Une analyse objective de résultats publiés incite à porter un jugement plus nuancé. Quelles qu'aient été leurs conclusions, les publications mettent en évidence, souvent à l'insu de leurs auteurs, des effets non nul mais différents de ceux prédits par les théories classiques admises à l'époque. Le fait qu'ils aient décrit souvent avec précision leurs expériences et publié les résultats bruts permet d'étudier à nouveau les mesures faites par ces expérimentateurs et de comparer leurs résultats entre eux.

Comme nous l'avons vu, l'analyse avec les moyens de calcul modernes des résultats publiés par ces physiciens réserve encore des surprises. Aujourd'hui, des expériences nouvelles sont conduites avec des objectifs variés : métrologie précise du temps et de l'espace, recherche d'ondes de gravité... Ne faudrait-il pas se donner également pour but de chercher à déterminer la précision avec laquelle les grandes lois physiques sont vérifiées dans la pratique ?

Compte tenu du développement de l'informatique, les physiciens modernes ne devraient-ils pas adopter une transparence plus grande encore que celle permise au début du vingtième siècle par les techniques d'édition ? Ils mettraient ainsi à la disposition des étudiants et chercheurs une somme de données brutes, ou prétraitées d'une façon aussi neutre que possible, à partir de laquelle ils pourraient mener à très faible coût des recherches originales et ainsi contribuer à l'effort de recherche dans des domaines dont le financement public sera de plus en plus difficile à assurer. Ce n'est que parce que les physiciens du début du vingtième siècle ont adopté cette attitude réellement scientifique que la présente étude a pu mettre en évidence une cohérence, insoupçonnée jusqu'à aujourd'hui, des mesures qu'ils avaient publiées.

Les résultats de l'étude comparative des différentes expériences optiques citées par les partisans et les opposants à la théorie de la relativité me semblent extrêmement importants.

Le premier de ces résultats, et sans doute le principal, est d'avoir mis en évidence de la force des idées préconçues. Il est bien certain que les expérimentateurs de talent qui sont arrivés à des résultats contradictoires à partir de résultats comparables étaient de bonne foi. Ils ont seulement été égarés par les conceptions physiques qui sous-tendaient leurs raisonnements.

Le second résultat est bien évidemment la vérification du fait qu'aucune expérience n'a mesuré la vitesse de la Terre par rapport à un repère absolu, mais un autre phénomène encore inconnu. Ceci valide donc une certaine forme de relativité, mais démontre qu'il est impossible de balayer d'un revers de main tous les travaux mettant en évidence l'existence d'effets qu'il faut bien qualifier de non relativistes, au sens de la théorie de la relativité, telle que nous la connaissons aujourd'hui.

Puissions-nous reprendre sans esprit de chapelle les bases expérimentales de cette théorie en acceptant que la réalité physique puisse contredire les concepts théoriques les mieux établis. Ne sommes-nous pas certains que toutes nos théories physiques sont approximatives et donc contestables à terme ? L'esprit scientifique pourra-t-il s'accommoder longtemps du respect scrupuleux de théories dogmatiques ne laissant plus aux faits le droit de les contester ? N'est-il pas temps d'oser réfléchir sur l'origine de la théorie de la relativité et de se demander si d'autres approches, rendant au moins aussi bien compte des phénomènes physiques réels, ne devraient pas être étudiées ?

Plus d'un siècle après la naissance de la théorie de la relativité, ne pourrait-on pas débattre sereinement de ces questions ?

Remerciements : Je tiens à remercier le bureau de l'AIRAMA, en particulier Guy Berthault, Philippe Bourcier de Carbon, Henry Aujard et Michel Gendrot ainsi que Vincent Morin dont les travaux ne sont pas encore publiés, pour leur soutien dans ce travail.

Bibliographie :

- [1] : Michelson, Am.J. Sci, 1881,
- [2] : Michelson and Morley, Philos. Mag. S.5 25, N°151, 1887, 449-463,
- [3] : The Ether-Drift Experiment and the Determination of the Absolute Motion of the Earth, Dayton C. Miller, Reviews of Modern Physics 1933, Volume 5, 203-242,
- [4] : L'anisotropie de l'espace, Maurice Allais, Editions Clément Juglar 1997,
- [5] : Des régularités très significatives dans les observations interférométriques de Dayton C. Miller 1925-1926, Maurice Allais, C.R. Acad. Sci. T. 327, Série II b, p. 1405-1410, 1999,
- [6] : Experimental Establishment of the Relativity of time, J. Kennedy and M. Thorndike, Physical Review, Volume 42, November 1932,
- [7] : Die Jenaer Wiederholung des Michelsonversuchs, Georg Joos, Analen der Physik, 1930, 386-407.
- [8] : Sur la dissymétrie optique de l'espace et les lois de la réfraction, Ernest Esclangon, C.R. de l'académie des sciences, 1927, 1593-1595,
- [9] : Sur l'existence d'une Dissymétrie optique de l'Espace, Ernest Esclangon, Journal des Observateurs, Volume XI, N°4, Avril 1928,
- [10] : Recherche expérimentale sur la dissymétrie optique de l'espace, Ernest Esclangon, C.R. de l'académie des sciences, 1935, 1165-1168,
- [11] : Improved Laser Test of the Isotropy of space, A. Brilliet and J. L. Hall, Physical Review Letters, Volume 42, Number 9, 26 February 1979,
- 11[1] : Modern Michelson-Morley Experiment using Cryogenic Optical Resonators, Holger Müller, Sven Hermann, Claus Braxmaier, Stephan Schiller and Achim Peters, Physical Review Letters, volume 91, Number 2, 11 July 2003,