

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

ET

LE RADIUM

RÉALISATION DE L'EXPÉRIENCE DE MICHELSON EN BALLON
ET SUR TERRE FERME

par A. PICCARD et E. STAHEL (Bruxelles).

Sommaire. — Nous décrivons un appareil Michelson de petites dimensions à enregistrement photographique. Nous montrons que sa sensibilité est de même ordre de grandeur que celle des appareils à grandes dimensions, utilisés en Amérique, mais que sa précision est plus grande, parce que les perturbations sont moins importantes, même relativement.

Avec cet appareil, nous avons effectué des mesures en ballon libre et sur terre ferme. En ballon, des perturbations thermiques ont diminué la sensibilité. Ce n'est donc qu'à une précision de 9 km par seconde environ que nous pouvons affirmer l'absence du vent d'éther au moment de la mesure à 2 500 m d'altitude.

Au laboratoire, à Bruxelles, la précision était beaucoup plus grande. La moyenne des mesures a donné un vent d'éther de 1,7 km : s au moment où, d'après M. Miller, il aurait dû être de 8,9 km : s, et de 2,3 km : s à une époque décalée de 12 heures de la précédente, au moment du minimum de M. Miller. Ces deux valeurs trouvées sont dans la limite des erreurs probables.

En donnant à l'un des miroirs un déplacement artificiel, nous avons montré que notre appareil permet réellement de déceler des déplacements de franges de l'ordre de grandeur cherché.

Nous avons finalement répété l'expérience sur le Rigi à 1 800 m d'altitude, afin de nous placer dans des conditions correspondant à l'expérience de M. Miller. La précision a encore pu être augmentée et nous avons trouvé, au moment où, d'après M. Miller, le vent d'éther aurait dû être de 9,5 km : s, un effet 40 fois plus petit, correspondant à un vent d'éther de 1,5 km : s, la limite des erreurs probables étant de 2,5 km : s.

Nous concluons donc que le vent d'éther ne s'est pas manifesté ni à Bruxelles, ni sur le Rigi à 1 800 m.

I. INTRODUCTION

On sait qu'en 1887 Michelson et Morley [^{1,2}] (¹) ont entrepris la fameuse expérience qui porte maintenant le nom d'« Expérience Michelson », pour déterminer la vitesse relative de la Terre par rapport à « l'éther ». Le résultat était négatif avec une précision d'environ 6 km : s.

En 1905, Morley et Miller [^{3,4}] ont répété l'expérience avec le même résultat négatif. En s'appuyant sur ce fait, Einstein [⁵] a établi sa théorie de la relativité d'après laquelle toute détermination de vitesse relative entre observateur et « éther » devient impossible.

En 1921, Miller [^{6,7}] reprend ses expériences à une plus grande altitude et trouve sur le Mont Wilson (altitude : 1750 m) un vent d'éther de 10 km : s [⁸]. D'après les premières publications, il semblait qu'il y avait une forte augmentation du vent d'éther avec l'altitude, puisque dans la plaine ce vent d'éther ne paraissait pas exister (entraînement partiel de l'éther ?). L'importance de ce résultat était manifeste, puisqu'il portait un coup mortel à la théorie de la relativité. Une discussion acharnée s'y rattacha [⁹ à ¹⁸].

C'est alors que nous nous sommes proposés, fin 1925, de répéter l'expérience en ballon

(¹) Les chiffres entre crochets [] se rapportent à l'index bibliographique à la fin de cet article.

libre, dans l'idée que, s'il y avait entraînement partiel de l'éther, cet entraînement devrait diminuer rapidement dans l'atmosphère libre avec l'altitude. Nous étions prêts pour l'ascension dès mars 1926. Mais le printemps 1926, particulièrement mauvais, nous a contraints de la retarder jusqu'en juin. La conséquence fâcheuse de ce retard fut que la grande chaleur d'été, qui n'aurait pas été à craindre au mois de mars, a empêché le thermostat de fonctionner normalement, de sorte que la précision en a souffert [^{11, 12, 13}]. Entre temps, M. Miller avait publié [⁹] que les expériences à Cleveland, même celles de 1905, interprétées autrement (!), donnaient un effet de même ordre de grandeur que sur le Mont Wilson. L'augmentation de l'effet avec l'altitude ne semblait donc pas exister et l'on pouvait reprendre les expériences dans la plaine. C'est ce que nous avons fait en novembre 1926 [^{19, 20, 21}].

Nous décrivons dans la suite, en un premier chapitre, les détails sur la construction de l'interféromètre et nos méthodes de mesures, et, dans une seconde partie, les résultats obtenus.

II. TECHNIQUE DES MESURES

1. **L'interféromètre.** — L'interféromètre Michelson que nous avons utilisé est du type à réflexions multiples (huit miroirs). Le chemin optique aller et retour dans chacune des branches est $L = 280$ cm. La figure 1 montre l'interféromètre avec les appareils auxiliaires.

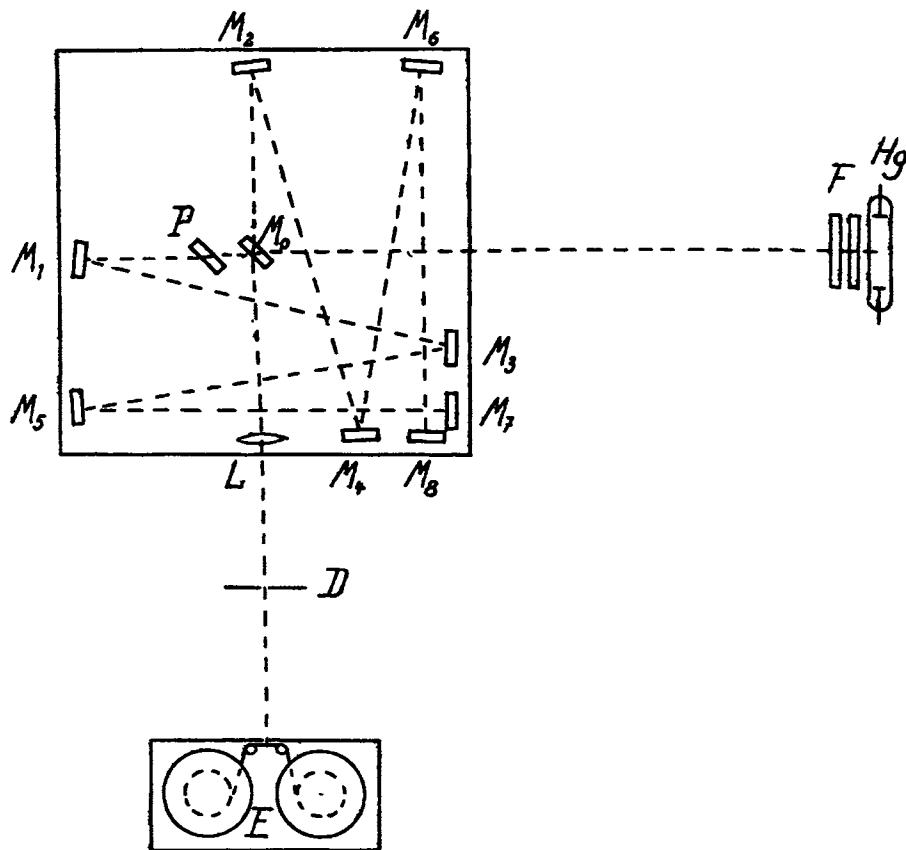


Fig. 1. — Dispositions générales.

Hg, Lampe à mercure; F, Filtres; M_0 , Miroir semi-transparent; M_1 à M_3 , Miroirs de réflexion; P, Plaque de compensation; L, Lentille; D, Diaphragme; E, Film enregistreur.

Le principe de fonctionnement de l'interféromètre est connu. Nous donnons ci-après quelques particularités de l'instrument que nous avons utilisé.

2. **Miroirs.** — Les miroirs et la plaque de compensation ont 40 mm de diamètre sur 10 mm d'épaisseur. Ils ont été fournis par la maison Jobin et Yvon et argentés chimiquement par nous.

3. **Détails de montage.** — Les miroirs de l'interféromètre sont montés sur une plaque d'aluminium de 45 cm \times 45 cm et de 4 cm d'épaisseur. Nous avons choisi cette forte épaisseur premièrement pour avoir une grande stabilité mécanique et deuxièmement pour uniformiser autant que possible la température. Pour des raisons de symétrie, nous avons choisi une plaque carrée tenue en son centre. En effet, les accélérations horizontales et verticales, toujours à craindre en ballon, produisent dans ces conditions des déformations qui sont, en première approximation, symétriques par rapport aux deux chemins optiques de l'interféromètre, et qui ne gênent donc pas. Un calcul sommaire, basé sur des souvenirs aéronautiques, a permis de prévoir que dans ces conditions ni les accélérations de l'aérostat, ni les oscillations de la nacelle ne pouvaient altérer les résultats. Les miroirs sont tenus par des trépieds en fonte de bronze dans des anneaux en laiton à l'aide de picéine

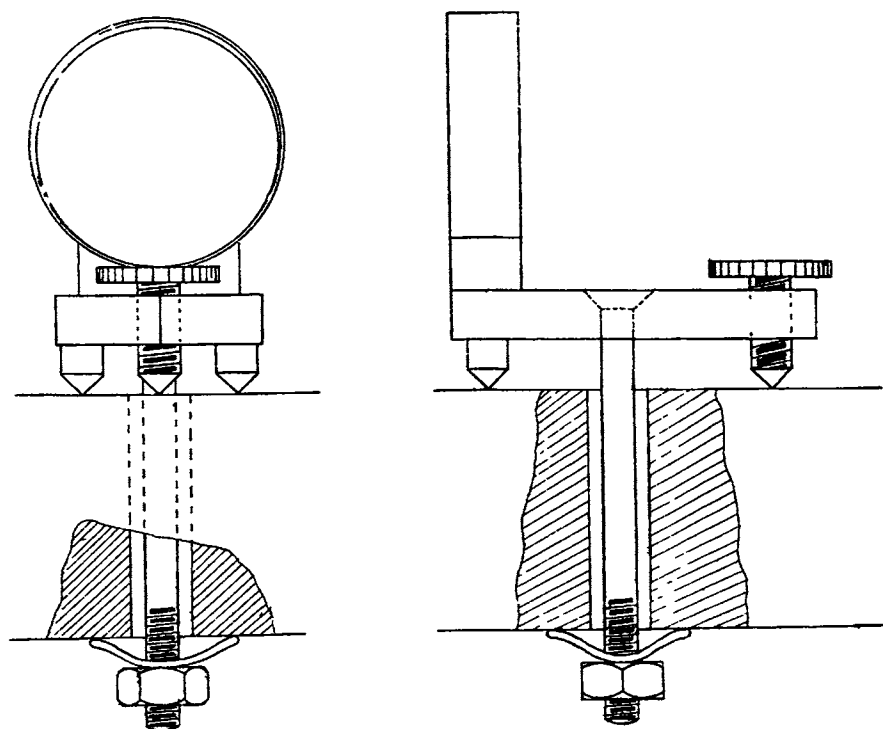


Fig. 2. — Support des miroirs M_1 à M_7 (réduction 2/3).

(fig. 2). La fixation des miroirs est très importante; pour ne pas les déformer du tout, il faudrait les coller en un seul point de la circonférence. De fait, on les a fixés en haut et en bas dans les anneaux. La stabilité en est fortement augmentée et la déformation des miroirs, bien qu'appréciable, n'est pas encore nuisible, parce que la picéine cède lentement aux efforts élastiques des miroirs. Chaque trépied est fixé sur la plaque d'aluminium par une vis avec écrou et ressort passant à travers la plaque. Cette fixation s'est montrée si stable que nous avons pu transporter l'interféromètre en automobile du laboratoire au champ aéronautique de Zellick sur un parcours de 15 km, sans que la raie d'interférence d'ordre zéro se fût déplacée de plus d'un demi-intervalle (observée en lumière blanche).

Le dernier miroir M_8 , qui sert au réglage exact des franges, est fixé autrement (voir figure 3). Les trois vis sont facilement accessibles de l'extérieur et permettent d'orienter le miroir d'une façon quelconque.

4. **Source lumineuse.** — Nous avons utilisé une lampe à arc au mercure système Cotton à cause de son grand éclat. L'arc nécessite 100 volts pour être amorcé, mais on peut l'entretenir (en ballon) avec 50 volts. Courant 3,2 ampères.

5. **Filtres.** — Nous nous sommes proposés de travailler avec la raie bleue 4358 Å du spectre du mercure. Pour absorber les autres raies, nous nous sommes servis :

a) d'une solution de sulfate de quinine pour absorber les longueurs d'onde inférieures à 4358 Å (suivant les conseils de M. Cotton) ;

b) d'une solution de violet d'aniline pour absorber la raie verte. La raie jaune ne s'enregistre pas sur les films cinématographiques.

6. **Lentille.** — La lentille L, qui projette les interférences sur le film, est construite spécialement pour être achromatique pour la lumière verte et la lumière bleue de l'arc de mercure. Ceci permet de régler à l'œil les interférences à la lumière verte (l'œil étant peu sensible pour le bleu) et de photographier ensuite à la lumière bleue en intercalant les filtres.

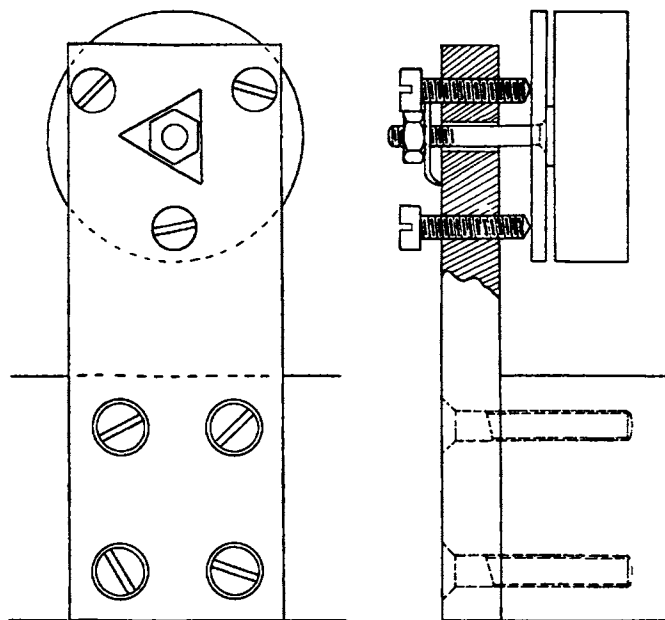


Fig. 3. — Support du miroir M_3 (réduction 2/3).

7. **Diaphragme.** — La réflexion de la lumière sur la surface postérieure (non argentée) du miroir M_0 donne un faisceau lumineux qui ne fait pas partie des faisceaux interférents et qui voile les franges d'interférences. Rappelons ici le procédé élégant que M. Kennedy [18] a employé pour éviter les faisceaux parasites et pour avoir théoriquement même intensité des deux faisceaux : En polarisant la lumière et en choisissant les angles de réflexion, on peut éviter toute réflexion sur les surfaces de verres non argentés.

Nous avons préféré une autre méthode, en employant en D un diaphragme circulaire. En effet, c'est là que se forme l'image quasi-ponctuelle de l'arc. On y observe plusieurs images, l'une est produite par les faisceaux interférents, d'autres par des faisceaux parasites. Les images sont nettement séparées ; un petit diaphragme circulaire de 0,5 mm de diamètre permet donc d'éliminer la lumière parasite et de n'employer que les faisceaux interférents.

Dans ces conditions, le rayon ayant passé par la plaque de compensation est légèrement plus faible que l'autre. On peut égaliser l'intensité des faisceaux en distribuant convenablement les miroirs sur les deux trajets et en tenant compte de leur pouvoir réflecteur individuel.

8. **Enregistrement photographique.** — Le perfectionnement principal, par rapport à la forme classique de l'interféromètre, a été de remplacer l'observation directe par l'enregistrement photographique. Un film cinématographique ordinaire se déroule (à l'aide d'un entraîneur électrique ou mécanique) derrière une fente de 0,3 mm avec une vitesse

constante de 1 mm : s environ. On projette sur cette fente les franges d'interférence horizontales et équidistantes de 1 mm environ. Si les franges restaient immobiles, elles apparaîtraient sur le film comme des droites parallèles.

On obtient les films les plus nets, c'est-à-dire des franges blanches (en négatif) très fines, si l'on photographie les interférences dans les environs de la frange d'ordre zéro (différence des chemins optiques des deux rayons égale à zéro). On règle donc d'abord les interférences à la lumière blanche pour avoir la frange zéro au milieu du champ, puis on passe à la lumière monochromatique et l'on photographie.

9. **Repères.** — Puisqu'on veut constater si les franges se déplacent quand on fait tourner l'appareil, il faut déterminer leurs positions par rapport à un repère fixe. On avait utilisé jusqu'ici un réticule, mis dans le plan de l'image des franges (donc près de la fente). Cette méthode a l'inconvénient qu'un déplacement du réticule par rapport au miroir (à la suite d'une déformation élastique du support, par exemple) donne un mouvement apparent des franges. On pare à cette difficulté en plaçant le repère devant les miroirs M_7 et M_8 . En effet, un objet qui se trouve juste devant ces miroirs se projette nettement sur le film. Nous avons placé devant M_7 un premier fil horizontal (diamètre 2 mm). Il intercepte la lumière du trajet 1-3-5-7 et produit sur le film une bande grise qui n'est éclairée que par le trajet 2-4-6-8. Les bords de cette bande ne sont cependant pas symétriques, puisque les franges d'interférence les touchent, et il serait dangereux de s'en servir pour faire les pointés. Nous plaçons donc un deuxième fil horizontal (de 0,5 mm de diamètre) devant le miroir M_8 et nous le réglons de telle façon qu'il se projette au milieu de l'image du premier fil. Il se produit sur la bande grise une fine ligne blanche, dont les bords sont rigoureusement nets et qui servira de repère absolument fixe. Dans ce dispositif, un déplacement éventuel du film par rapport à l'interféromètre ne gênera nullement.

10. **Thermostat.** — Tout l'interféromètre est entouré, soit d'un thermostat rempli de glace (en ballon, voir plus loin), soit d'une enceinte en fer à joints de caoutchouc qui permet de faire le vide. L'expérience nous a montré, dès le début, que c'était surtout les perturbations thermiques dans l'air qui donnaient des mouvements irréguliers et rapides des franges et non pas des hétérogénéités de température dans le support. Pour les éliminer complètement, nous avons tenté de placer l'interféromètre dans le vide et nous avons, dans cette intention, fait construire l'enceinte en fer. Malheureusement, les interférences se déréglaient au bout de quelques minutes dans le vide à cause de faibles déplacements des miroirs, produits par de minuscules bulles d'air qui se dilatent lentement dans la picéine. On aurait évidemment pu imaginer un réglage à distance. Nous y avons renoncé, l'essai ayant montré que le récipient seul, par sa grande capacité thermique, a si bien homogénéisé la température que, même à pression atmosphérique, les perturbations thermiques disparaissaient complètement.

11. **Suspension et rotation.** — *a) en ballon.* — Il ne fallait pas songer à tourner l'interféromètre par rapport au ballon. La seule possibilité de réaliser l'expérience consistait à faire tourner tout le ballon. On réalisait ainsi une rotation très douce autour d'un axe parfaitement vertical. Cette suspension aérostatique vaut largement le support classique du bain de mercure. Nous avons réalisé la rotation à l'aide de deux moteurs électriques munis d'hélices, suspendus en dessous de l'équateur du ballon à la hauteur de la nacelle. Nous disposions d'une force périphérique de 3,5 kg, mais nous n'avons à utiliser que 0,8 kg pour donner au ballon de 16 m de diamètre (2200 m³) une vitesse de rotation d'un tour en 25 secondes. Cette vitesse est le maximum de ce que nous pouvions supporter à la longue sans inconvénients physiologiques graves, comme l'avaient montré les expériences préliminaires.

b) au laboratoire. — Nous avons suspendu tout l'appareil à une tige de fer, traversant le plafond et supportée par un roulement à billes cimenté sur le plancher de l'étage supérieur. La suspension contient un segment de corde vertical, qui, par sa flexibilité, garantit la rotation autour d'un axe parfaitement vertical. Pour éviter toute périodicité

dans la vitesse de rotation. L'entraînement est obtenu au moyen d'un petit moteur avec hélice, posé sur la plaque tournante même.

12. Azimuts. — Pendant la rotation de l'interféromètre, l'azimut de l'appareil doit être connu à chaque instant. Nous avons combiné un cadran, muni de fenêtres et ne participant pas à la rotation, avec un rayon lumineux dont la source et le trajet sont solidaires de l'appareil. Le rayon lumineux passe à travers les fenêtres du cadran et s'enregistre par un système de miroirs et de lentilles sur le bord du film. En ballon, le cadran était maintenu immobile par une aiguille aimantée⁽¹⁾; au laboratoire, le cadran était fixé sous la table tournante. Le cadran intercepte en général la lumière; il ne la laisse passer que par des fentes pratiquées tous les vingtièmes de tour. On obtient donc un éclair de lumière tous les 18° de rotation. La vingtième fente (qui est dans la direction nord) est obstruée. On peut donc repérer sur le film la direction nord (signal manquant), puis les azimuts de 18° en 18°.

13. Sensibilité de l'interféromètre. — Afin de pouvoir exécuter les mesures interférométriques en ballon, il a fallu construire un interféromètre de petites dimensions. Nous avons choisi un appareil dont le chemin optique total dans chaque branche mesurait 2,80 m. Miller utilise dans ses expériences un appareil de 70 m de chemin optique. Quelle sera la sensibilité du petit modèle en comparaison de celle de l'appareil de Miller? Dans ce dernier, l'observateur peut estimer la position des franges par rapport au réticule à 1/10 frange près [j. Avec l'enregistrement photographique, l'analyse du film, faite à la machine à diviser, est beaucoup plus exacte. En effet, la distance des franges a été choisie égale à 1 mm environ. L'erreur probable d'un pointé ne dépasse pas 0,007 mm. La mesure se fait donc avec une précision de 1/150 frange, donc 15 fois meilleure que dans les grands appareils. L'enregistrement photographique permet en outre d'utiliser une longueur d'onde plus courte (0,436 μ). Elle est donc 1,36 fois plus petite que celle de la raie de sodium (0,589 μ) d'où un coefficient de 1,36 en faveur du petit appareil qui est finalement, au point de vue précision de lecture, $1,36 \times 15 = 20$ fois plus efficace. Or, son chemin optique n'est que 24 fois plus court. On voit donc, que la sensibilité relative des deux types d'appareils est la même.

Si donc, au point de vue sensibilité, les deux appareils se valent, le petit modèle possède des avantages au point de vue des erreurs systématiques et des perturbations :

a) Il est plus facile de l'isoler thermiquement et de lui donner la stabilité mécanique nécessaire.

b) L'enregistrement photographique permet de tourner l'appareil plus vite (3 à 4 tours par minute). L'observation visuelle ne peut se faire qu'avec une vitesse maximum de 1 tour par minute⁽²⁾. Or, toutes les perturbations à variations lentes influent sur le résultat plus fortement si la durée de rotation est plus grande.

c) Le film enregistreur donne un document qui peut être examiné en tout repos à la machine à diviser. Il faut une demi-heure environ pour dépouiller un tour de l'appareil enregistré en 15 à 25 secondes.

d) On peut éliminer toute erreur psychologique en faisant mesurer les films par un personnel subalterne, entraîné à la mesure mais ne sachant pas de quoi il s'agit dans le cas particulier. Ceci est évidemment beaucoup plus difficile si l'observateur, marchant autour de l'appareil, sait à chaque moment, dans quel azimut il se trouve.

14. Analyse du film. — Ainsi qu'il a été dit au § 12, 19 signaux lumineux s'enregistrent par tour sur le film. Le vingtième signal qui manque donne le nord. Pour chacun des signaux, on mesure à la machine à diviser la distance entre le repère et deux des franges d'interférences. Si un vent d'éther existait, les franges devraient se déplacer par rapport au

(1) Disons ici que, lors de l'ascension, cet appareil n'a pas servi. Les astres étant visibles, nous avons enregistré les azimuts en commandant la petite lampe à main tous les demi-tours.

(2) Michelson ne faisait que 1 1/2 tour par minute.

repère en un mouvement sinusoïdal qui aurait deux périodes complètes pour un tour. Les mesures correspondant aux signaux 11 à 20 sont donc en phase avec celles des signaux 1 à 10 et on peut les résumer en une moyenne. Le problème mathématique qui se pose est donc de calculer l'amplitude et la phase de la sinusoïde complète

$$s = \frac{A}{2} \sin (\alpha + \varphi) + C. \tag{1}$$

qui s'adapte le mieux aux 10 points observés. La méthode des moindres carrés de Gauss permet de trouver la solution par analyse harmonique. Elle permet de déterminer les trois grandeurs A , φ et C ; connaissant A et φ , on calcule la grandeur et la direction du vent d'éther produisant une telle sinusoïde.

En effet, la théorie de l'interféromètre Michelson montre qu'une vitesse relative entre l'éther et l'observateur se traduit par une variation ΔL du chemin optique L qui est donnée par la formule

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}. \tag{2}$$

Si $A/2$ est l'amplitude observée de la sinusoïde, et D , la distance entre deux franges consécutives, on a

$$\Delta L = \frac{A}{2D} \cdot \lambda, \tag{3}$$

(λ , longueur d'onde) d'où :

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{A}{D} \cdot \frac{\lambda}{L}. \tag{4}$$

La formule (4) permet de calculer v , connaissant λ et L , et ayant mesuré A et D .

Nous comptons tous les azimuts de l'appareil à partir de la position dans laquelle le chemin optique 1-3-5-7 se trouve dans le plan méridien et nous comptons les amplitudes dans le sens qui correspond à un raccourcissement de ce chemin optique. Dans ces conditions, la direction du vent d'éther forme avec le méridien un angle égal à $\varphi/2$. On ne pourrait donc déterminer que l'orientation et jamais la direction du vent d'éther, comme il ressort de la théorie de l'interféromètre.

III. RÉSULTATS.

1. En ballon. — L'ascension a eu lieu le 20/21 juin 1926 (1). Les mesures furent exécutées le 21 juin entre 0 et 4 heures du matin à une altitude de 2 500 m. La journée précédente ayant été très chaude, le thermostat à glace n'a pas bien fonctionné et les perturbations thermiques ont fortement gêné. L'analyse du film n'a donné un vent d'éther qu'en deçà de la limite des erreurs probables qui, à cause de ces perturbations thermiques, était de 9 km : s.

A dix heures du matin, à 4 500 m, l'observation visuelle a permis seulement de constater que le déplacement des franges n'atteignait pas un dixième de la distance entre deux franges, correspondant à 30 km : s environ.

2. Sur terre ferme à Bruxelles. — Le même interféromètre, mais perfectionné quant à sa protection thermique, a servi au laboratoire en novembre 1926. Deux séries de mesures furent exécutées, l'une les 25 et 29 novembre à minuit, époque à laquelle la projection horizontale du vent d'éther de Miller était près du maximum. A ce moment, l'apex du vent d'éther se trouvait, pour Bruxelles, à 28° au dessus de l'horizon, ce qui donne, pour un vent d'éther de 10 km : s (Miller), une projection horizontale de 8,9 km : s. Ce vent d'éther

(1) Pour plus de détails voir : *C. R.*, t. 163 (1926); n° 7; *Bull. Acad. Belg.*, (1926), p. 630-635.

devrait donner une sinusoïde d'une amplitude totale de $5,7/1000$ frange. L'autre série de mesures a été exécutée le 23 novembre de 10 h 40 mn à 11 h 00 mn. On a étudié chaque fois six groupes de dix tours de rotation et l'on a calculé, pour chaque groupe, la sinusoïde la plus probable en amplitude et en phase. Les résultats sont réunis dans le tableau I.

TABLEAU I.

Amplitudes et phases des sinusoïdes les plus probables (Bruxelles).			
25 et 29 novembre à 24 heures.		23 novembre à 10 h 50 mn	
Amplitude en millièmes de frange.	Phase.	Amplitude en millièmes de frange.	Phase.
3,2	342°	1,85	3°
5,2	274°	1,27	260°
6,5	47°	3,40	204°
2,2	270°	1,00	218°
4,9	168°	3,70	10°
3,8	152°	1,14	170°

Il est à remarquer que la première série (minuit) a été mesurée par l'un de nous, tandis que, pour la deuxième série, les mesures du film ont été exécutées par un personnel subalterne qui n'était pas au courant de la question. Le premier groupe de dix tours, mesuré par un collaborateur non entraîné, a dû être remesuré. A part cela, toutes les mesures, sans aucune exception, ont été utilisées telles quelles avec le même poids.

On voit que, dans ces 12 groupes, un seul a donné un vent d'éther aussi grand que celui de Miller. En général, le vent d'éther trouvé est passablement plus faible. En outre, ce qui est essentiel, la direction des différents vecteurs trouvés varie d'une façon tout à fait arbitraire. On s'en rend bien compte en portant les vecteurs en un graphique polaire. On n'y voit aucune trace d'un effet systématique de l'ordre de grandeur du vent d'éther de Miller.

Ces graphiques polaires permettent en outre de déterminer d'une façon simple le vecteur moyen, qui représente le vecteur le plus probable.

Comme résultat final, nous trouvons :

$$\frac{A}{D} = \frac{0,20}{1000} \text{ frange pour minuit.}$$

$$\frac{A}{D} = \frac{0,37}{1000} \text{ frange pour midi.}$$

En appliquant la formule (4) et en y introduisant les valeurs suivantes :

$$\lambda = 0,4358 \mu, \quad L = 280 \text{ cm}, \quad c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm : s,}$$

on trouve

$$v = 1,7 \text{ km : s (minuit)}$$

$$v = 2,3 \text{ km : s (midi)}$$

On retrouve les mêmes valeurs en calculant un peu autrement. Prenons la moyenne de toutes les mesures du premier signal, celle du second, etc., et calculons la sinusoïde la plus probable par rapport aux dix points moyens. Nous représentons dans les figures 4 et 5

les graphiques correspondants. Dans le premier, on voit en outre la sinusoïde qu'on aurait dû trouver pour un vent d'éther horizontal de 8,9 km : s (Miller).

On voit que ces valeurs trouvées sont en complet désaccord avec les résultats de Miller. Le déplacement des franges observé à minuit est 28 fois plus petit que ce que devrait donner le vent d'éther horizontal de 8,9 km : s (0,2 millièmes de frange contre 5,7 millièmes).

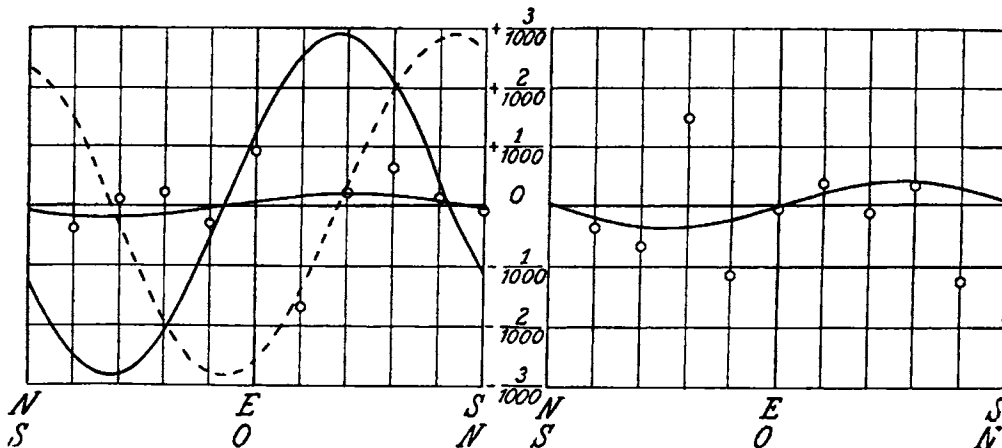


Fig. 4. — 23 et 29 novembre à minuit.

Fig. 5. — 23 novembre à midi.

Graphiques finaux pour Bruxelles.

Précisons encore que les faibles vitesses que nous trouvons *ne peuvent pas être considérées comme réelles*. En discutant, par le calcul des erreurs probables, les erreurs individuelles, on trouve que les erreurs probables sont plus grandes que les valeurs trouvées. Elles sont, pour les deux cas, d'environ 0,6/1000 frange, correspondant à 3,0 km : s environ.

3. Mesure de contrôle. — Il était intéressant de prouver que notre interféromètre était capable d'enregistrer réellement de faibles déplacements des franges de l'ordre de grandeur de l'effet Miller. Nous avons produit un « effet artificiel » de la façon suivante : L'appareil est immobilisé; sur le support du miroir M_2 est fixé un ressort dynamométrique, qui peut être tendu plus ou moins fortement au moyen de la vis micrométrique d'une machine à diviser. On donne d'abord au ressort un allongement tel que le mouvement des franges devient directement visible à l'œil. Un allongement du ressort de 50 mm donnait un déplacement de franges de 0,40 fois la distance qui les sépare, d'abord estimé à l'œil, ensuite enregistré et mesuré à la machine à diviser. La proportionnalité entre l'allongement du ressort et le déplacement des franges a été vérifiée. En allongeant le ressort plus faiblement, soit de 0,71 mm, le déplacement des franges devrait être 70 fois plus petit, donc 5,7/1000, amplitude égale à l'effet de Miller.

Nous avons effectué deux séries de mesures de ce déplacement artificiel, en prenant les précautions nécessaires pour que l'observateur qui mesure le film ne sache pas dans quel sens le mouvement du ressort a été fait (ceci afin d'éliminer toute « erreur psychologique »).

Nous avons trouvé des déplacements de 4,3/1000 et 5,5/1000 en moyenne

$$4,9/1000 \pm 1,5/1000$$

au lieu de

$$5,7/1000.$$

On voit que l'effet s'est bien manifesté dans le sens prévu avec une erreur absolue qui est en deçà de l'erreur probable. Cette vérification est très importante et satisfaisante,

puisqu'elle montre qu'un déplacement des franges de l'ordre de grandeur de l'effet Miller n'aurait pas pu nous échapper.

Si l'erreur est deux fois plus grande ici que dans les mesures principales, cela tient à ce que le nombre d'observations est plus petit.

4. Discussion. — Si l'on compare nos mesures de Bruxelles à celles de M. Miller, on peut nous objecter que nos mesures, ont été faites à une altitude de 100 m seulement, tandis que Miller a trouvé le vent d'éther sur le Mont Wilson à 1 750 m. Mais dans sa publication en avril 1926 [9], il communique qu'en reprenant les mesures à Cleveland (à faible altitude) il trouve, là aussi, un effet, qui, d'après lui, ne diffère pas grandement de celui du Mont Wilson (1). Il est en tout cas permis de comparer les mesures de Bruxelles à celles de Cleveland. Puisque les mesures de Cleveland donnent un résultat presque identique à celles du Mont Wilson, on peut aussi comparer les résultats de Bruxelles à ceux du Mont Wilson.

5. Mesures sur le Rigi, à 1800 m. — Pour terminer nos recherches et pour répondre à certaines critiques [23], nous avons cependant tenu à répéter l'expérience aussi en altitude et à nous placer dans des conditions se rapprochant autant que possible de celles des mesures de M. Miller. Nous avons choisi comme point d'observation le Rigi (longitude 8°30' Est Greenwich et latitude 47°0' Nord), dont la hauteur (1 800 m) dépasse légèrement celle du Mont Wilson. Son sommet très dégagé se prêtait particulièrement à notre travail. Il est à une quarantaine de kilomètres au nord de la première chaîne principale des Alpes. Les cimes isolées les plus rapprochées qui le dépassent légèrement sont à 20 km à l'est et à l'ouest (Mythen et Pilate). Le nord, d'où, selon M. Miller, soufflerait le vent d'éther, est tout à fait ouvert. L'appareil était placé 3 m plus haut que le sommet, sous les combles de l'hôtel le plus élevé. Aucun mur épais ne pouvait arrêter le courant d'éther (2).

Les mesures furent exécutées les 16 et 17 septembre 1927 entre 5 heures et 6 heures du matin (heure locale). Le vent d'éther de M. Miller avait à ce moment une projection horizontale de 9,5 km : s, son apex se trouvant alors à 19° au-dessus de l'horizon. Pour augmenter la précision, nous nous étions proposés de doubler le nombre des mesures. Nous avons donc enregistré et mesuré 120 tours de l'appareil, subdivisés en 12 groupes de 10 tours. Comme précédemment, nous avons calculé les sinusoides les plus probables qui, comme le montre le tableau II, ont toutes des amplitudes passablement plus faibles que 6,4/1000 (amplitude du vent d'éther de M. Miller au Rigi) et dont les phases varient irrégulièrement entre 0 et 2π .

L'amplitude résultante moyenne se trouve être égale à

$$0,46/1000 \text{ frange}$$

correspondant à un vent d'éther de

$$v = 1,5 \text{ km : s}$$

Le déplacement des franges trouvé est donc 40 fois plus petit que ce qu'aurait prévu M. Miller.

Comme erreur probable de cette série de mesures, nous pouvons indiquer 0,4/1000 frange correspondant à $v = 2,5 \text{ km : s}$.

Si l'on résume comme précédemment (fig. 4 et 5) les mesures des 10 points des 12 séries en une moyenne générale et si on les représente graphiquement à la même

(1) Miller dit textuellement [9] : The evidence now indicates that the drift at Mount Wilson does not differ greatly in magnitude from that at Cleveland and that at sea-level it would probably have about the same value.

(2) Nous tenons ici à remercier l'administration des douanes fédérales et les directeurs des Chemins de Fer du Rigi et de l'hôtel Rigi-Kulm pour toutes les facilités qu'ils nous ont accordées.

TABLÉAU II.

Amplitudes et phases des sinusoïdes les plus probables pour le Rigi (1800 m), 16 et 17 septembre 1927, 5 h à 6 h du matin.	
Amplitude en millièmes de frange	Phase.
3,4	258°
1,1	121°
4,0	146°
2,4	163°
2,4	87°
4,3	9°
2,3	24°
2,6	233°
0,6	220°
2,0	280°
1,2	220°
3,9	26°

échelle qu'une sinusoïde de M. Miller, on obtient le graphique représenté par la figure 6.

Ici encore on se rendra bien compte que les points observés sont tout à fait incompatibles avec un vent d'éther horizontal de 9,5 km : s.

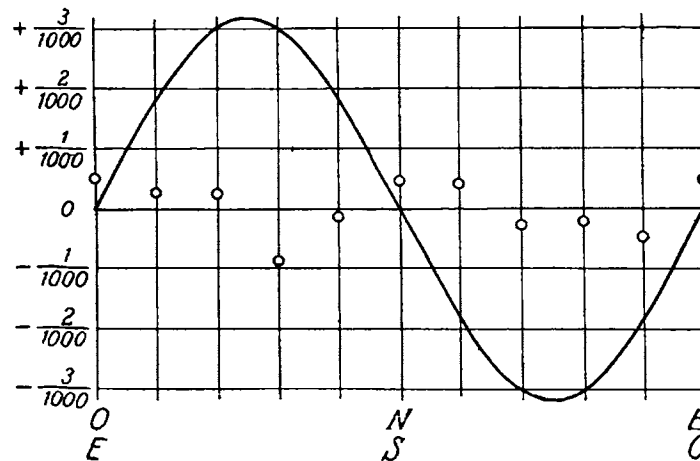


Fig. 6. — Graphique correspondant aux mesures du Rigi.

Pour terminer, nous avons cherché à expliquer la discordance entre les résultats de Miller et les nôtres. Notre impression est que l'appareil de Miller n'a pas une précision suffisante pour ce genre de recherches. Nous croyons que si sa précision avait été suffisante, Miller ne serait pas arrivé à conclure de ses expériences, à Cleveland d'abord (1905), par l'absence du vent d'éther, puis, en interprétant autrement les mêmes expériences, à croire à l'existence du vent d'éther de l'ordre de grandeur de 10 km : s.

Notre travail a pu être exécuté grâce à une subvention de la Fondation Universitaire de Bruxelles.

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] MICHELSON et MORLEY. *Amer. J. Sc.*, t. 34 (1887), p. 333.
 - [2] MICHELSON et MORLEY. *Phil. Mag.*, t. 24 (1887), p. 449.
 - [3] MORLEY et MILLER. *Phil. Mag.*, t. 9 (1905), p. 680.
 - [4] MORLEY et MILLER. *Phil. Mag.*, t. 9 (1905), p. 669.
 - [5] EINSTEIN. *Ann. der Phys.*, t. 17 (1905), p. 891.
 - [6] MILLER. *Phys. Rev.*, t. 19 (1922), p. 107.
 - [7] MILLER. *Science*, t. 55 (1922), 496.
 - [8] WEBER. *Physik. Zts.*, t. 27 (1926), p. 5.
 - [9] MILLER. *Science*, t. 63 (1926), p. 433.
 - [10] THIRRING. *Naturwiss.*, t. 14 (1926), p. 111.
 - [11] PICCARD et STAHEL. *C. R.*, t. 183 (1926), p. 420.
 - [12] PICCARD et STAHEL. *Bull. Acad. Belg.*, t. 8 (1926), p. 630.
 - [13] PICCARD et STAHEL. *Naturwiss.*, t. 14 (1926), p. 935.
 - [14] STRÖMBERG. *Nature*, t. 117 (1926), p. 482.
 - [15] LODGE. *Nature*, t. 117 (1926), p. 834.
 - [16] MILLER. *Nature*, t. 117 (1926), p. 890.
 - [17] THIRRING. *Nature*, t. 118 (1927), p. 81.
 - [18] KENNEDY. *Proc. nat. Acad. Sc.*, t. 12 (1926), p. 621.
 - [19] JOOS. *Physik. Zts.*, t. 27 (1926), p. 1.
 - [20] PICCARD et STAHEL. *C. R.*, t. 184 (1927), p. 152.
 - [21] PICCARD et STAHEL. *C. R.*, t. 184 (1927), p. 431.
 - [22] PICCARD et STAHEL. *Naturwiss.*, t. 15 (1927), p. 6.
 - [23] BRYLINSKI. *C. R.*, t. 184 (1927), p. 192.
-