

2.6 Interféromètre de Michelson

Note historique. Albert A. Michelson (1852–1931) construit son interféromètre en 1881 pour détecter le mouvement de la Terre par rapport à l'éther ; l'expérience, reprise avec Morley en 1887, donne un résultat nul. Michelson reçoit le prix Nobel de physique en 1907 ; son principe sert encore dans LIGO (ondes gravitationnelles, 2015).

2.6.1 Principe

Interférences par **division d'amplitude** : une séparatrice semi-réfléchissante divise le faisceau d'une source en deux, qui se réfléchissent sur deux miroirs perpendiculaires M_1 et M_2 puis se recombinaient sur la séparatrice et sont observés sur un écran ou à la lunette. Une compensatrice, lame identique à la séparatrice, égalise les épaisseurs de verre traversées par les deux faisceaux : sans elle, la différence de marche dépendrait de la longueur d'onde (indice du verre), ce qui interdirait de travailler en lumière blanche.

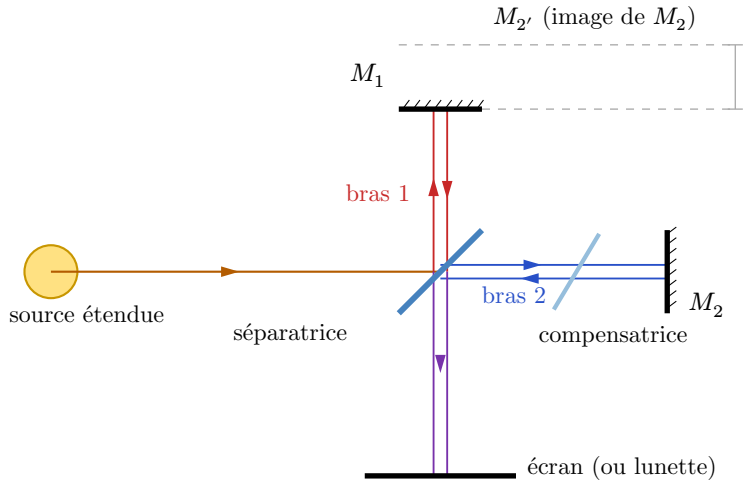


Fig. 17. – Interféromètre de Michelson. Vu depuis la séparatrice, le miroir M_2 est équivalent à son image M_2' par la séparatrice : M_1 et M_2' forment une lame d'air d'épaisseur e .

2.6.2 Deux réglages

Lame d'air (M_1 et M_2' parallèles, distants de e) : l'interféromètre équivaut à une lame d'air éclairée par une source étendue sous l'incidence i . La différence de marche entre les deux rayons qui interfèrent est

$$\delta = 2e \cos i \simeq 2e - ei^2, \quad (22)$$

à un déphasage constant près dû aux réflexions. Les franges, localisées à l'infini, sont des anneaux d'égale inclinaison ; l'ordre d'interférence $p = \delta/\lambda$ est maximal au centre, $p_0 = 2e/\lambda$. Les rayons angulaires vérifient $i_{k+1}^2 - i_k^2 = \lambda/e$: les anneaux se resserrent vers l'extérieur. Quand e augmente de $\lambda/2$, un anneau naît au centre : compter N anneaux qui défilent mesure un déplacement $\Delta e = N\lambda/2$ du miroir.

Coin d'air (M_1 et M_2' font un petit angle α) : l'épaisseur varie comme $e(x) = \alpha x$ et, en incidence quasi normale, $\delta \simeq 2\alpha x$. Les franges sont rectilignes, parallèles à l'arête du coin, d'égale épaisseur, localisées au voisinage des miroirs, et d'interfrange $i = \lambda/(2\alpha)$.

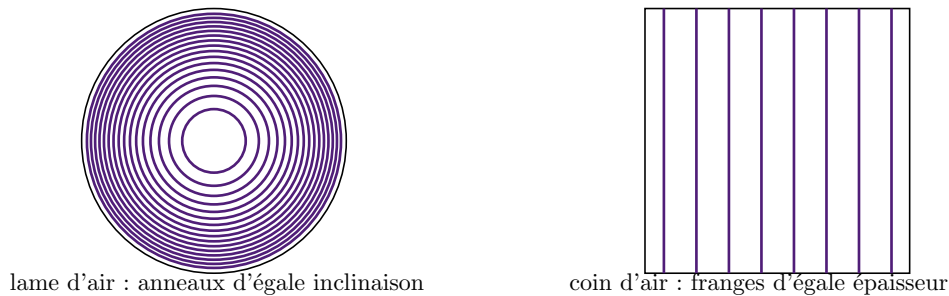


Fig. 18. – Figures d'interférences du Michelson (schématisques).

Contact optique : pour $e = 0$, $\delta = 0$ pour tous les rayons et l'on observe une teinte plate, point de départ des deux réglages.

2.6.3 Cohérence temporelle et doublet du sodium

La source n'étant pas monochromatique, de largeur spectrale $\Delta\lambda$, les anneaux disparaissent quand $\delta = 2e$ dépasse la longueur de cohérence $L_c = \lambda^2/\Delta\lambda$: on règle donc le Michelson près du contact optique. En lumière blanche, on ne voit que quelques franges colorées très près du contact optique, ce qui permet de le repérer, la compensatrice garantissant $\delta = 0$ pour toutes les longueurs d'onde.

Le doublet du sodium ($\lambda_1 = 589,0$ nm et $\lambda_2 = 589,6$ nm, de même intensité) donne deux systèmes d'anneaux qui se superposent : le contraste vaut $C = |\cos(\pi\delta\Delta\lambda/\lambda^2)|$ et s'annule (brouillage) chaque fois que δ augmente de $\lambda^2/\Delta\lambda$, donc chaque fois que e augmente de $\lambda^2/(2\Delta\lambda)$.

Mesure du doublet du sodium

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta e} \quad (23)$$

où Δe est le déplacement de M_2 entre deux brouillages consécutifs : $\Delta e \simeq 0,29$ mm pour $\lambda = 589,3$ nm et $\Delta\lambda = 0,6$ nm.

2.6.4 Spectromètre à transformée de Fourier

En déplaçant M_2 et en enregistrant l'éclairement au centre, on obtient l'interférogramme

$$I(\delta) = \int B(\sigma)[1 + \cos(2\pi\sigma\delta)] d\sigma, \quad (24)$$

où $B(\sigma)$ est le spectre de la source en nombre d'onde $\sigma = 1/\lambda$. Une transformée de Fourier redonne $B(\sigma)$, avec une résolution $\Delta\sigma \simeq 1/\delta_{\max}$.

2.6.5 Expérience de Michelson-Morley (1887)

Si la Terre se déplaçait à la vitesse v par rapport à l'éther, le temps aller-retour serait $(2L/c)(1 + v^2/c^2)$ dans le bras parallèle au mouvement et $(2L/c)(1 + v^2/(2c^2))$ dans le bras perpendiculaire. Une rotation de 90° de l'interféromètre échange les rôles des bras et doit décaler les franges de

$$\Delta N = \frac{2Lv^2}{\lambda c^2} \simeq 0,4, \quad (25)$$

pour $L \simeq 11$ m (bras replié par des réflexions multiples), $\lambda \simeq 550$ nm et $v \simeq 30$ km/s. Michelson et Morley observent un décalage au plus de quelques centièmes de frange : pas de mouvement détectable par rapport à l'éther.

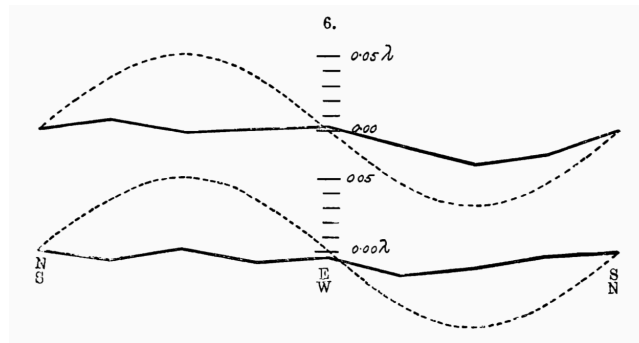


Fig. 19. – Décalage des franges selon l'orientation de l'appareil, d'après Michelson et Morley (1887). Courbes pleines : observations ; pointillés : un huitième du décalage théorique attendu.

Pour aller plus loin. J.-P. Pérez, *Optique : fondements et applications*, Dunod ; Sextant, *Optique expérimentale*, Hermann ; A. A. Michelson et E. W. Morley, *American Journal of Science* 34, 333 (1887).