

3.3 Interféromètre de Fabry-Pérot

Note historique. Charles Fabry (1867–1945) et Alfred Pérot (1863–1925) présentent leur interféromètre dès 1897 (description détaillée en 1899), à Marseille. Il sert à la spectroscopie de haute résolution et à la mesure du mètre en longueurs d'onde ; Fabry et Buisson l'utilisent en 1913 pour mettre en évidence la couche d'ozone.

3.3.1 Principe

Interféromètre à **division d'amplitude à ondes multiples** : deux lames à faces parallèles, partiellement réfléchissantes (coefficient de réflexion en intensité R , de transmission $T = 1 - R$, absorption négligeable), séparées par une lame d'air d'épaisseur e et d'indice n . Un rayon incident donne une infinité de rayons transmis parallèles, d'amplitudes en progression géométrique décroissante, qui interfèrent à l'infini ou dans le plan focal d'une lentille. Le Michelson superpose deux ondes, le Fabry-Pérot en superpose un grand nombre : les franges sont beaucoup plus fines.

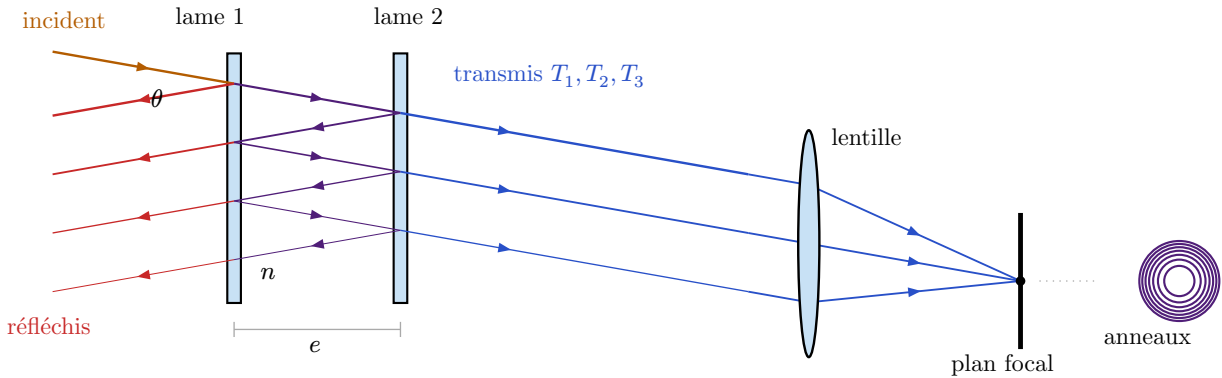


Fig. 29. – Fabry-Pérot : un rayon incident, d'angle θ , donne des rayons réfléchis et transmis d'amplitudes décroissantes. Les rayons transmis interfèrent dans le plan focal de la lentille et forment des anneaux (angle d'incidence très exagéré).

3.3.2 Intensité transmise : fonction d'Airy

Deux rayons transmis successifs sont déphasés de $\varphi = 4\pi ne \cos \theta / \lambda$. Avec $r^2 = R$ et $t^2 = T$ les coefficients en amplitude, le rayon k a l'amplitude $E_0 t^2 r^{2k}$ et la phase $k\varphi$: l'amplitude transmise est la somme d'une série géométrique de raison $Re^{j\varphi}$,

$$E_t = E_0 T (1 + Re^{j\varphi} + R^2 e^{2j\varphi} + \dots) = \frac{E_0 T}{1 - Re^{j\varphi}}. \quad (38)$$

L'éclairement transmis s'en déduit, avec $T = 1 - R$:

$$\frac{I_t}{I_0} = \frac{T^2}{(1 - Re^{j\varphi})(1 - Re^{-j\varphi})} = \frac{T^2}{(1 - R)^2 + 4R \sin^2(\varphi/2)}. \quad (39)$$

Fonction d'Airy

$$\frac{I_t}{I_0} = \frac{1}{1 + m \sin^2(\varphi/2)}, \quad m = \frac{4R}{(1 - R)^2} \quad (40)$$

La transmission vaut 1 pour $\varphi = 2\pi p$, c'est-à-dire $2ne \cos \theta = p\lambda$: la lame transmet toute la lumière aux résonances, quel que soit R , et presque rien entre elles pour R voisin de 1.

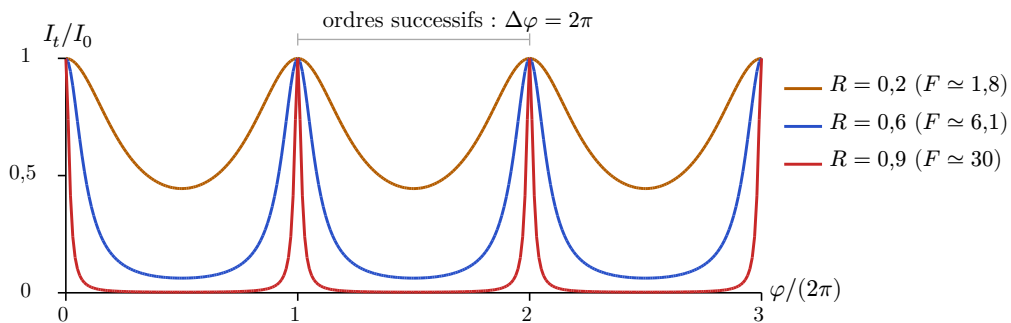


Fig. 30. – Fonction d'Airy pour trois valeurs de R : plus R est grand, plus les pics sont fins (finesse F croissante).

3.3.3 Finesse

Autour d'un maximum, l'éclairement tombe à la moitié pour $m \sin^2(\varphi/2) = 1$, soit $\varphi = 2\pi p \pm 2/\sqrt{m}$. La largeur à mi-hauteur vaut donc $\Delta\varphi = 4/\sqrt{m} = 2(1-R)/\sqrt{R}$, et on définit la finesse comme le nombre de pics que l'on peut loger dans un ordre :

$$F = \frac{2\pi}{\Delta\varphi} = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}. \quad (41)$$

3.3.4 Intervalle spectral libre et résolution

À incidence normale, $\varphi = 4\pi ne\nu/c$: les pics sont espacés, en fréquence, de l'intervalle spectral libre $\Delta\nu_{\text{ISL}} = c/(2ne)$, soit $\Delta\lambda = \lambda^2/(2ne)$ en longueur d'onde. Chaque pic a la largeur $\delta\nu = \Delta\nu_{\text{ISL}}/F$. Deux raies sont séparées si leur écart dépasse $\delta\nu$; pour que les ordres ne se recouvrent pas, le spectre étudié doit en outre être plus étroit que $\Delta\nu_{\text{ISL}}$.

Pouvoir de résolution

$$\frac{\lambda}{\delta\lambda} = pF, \quad p = \frac{2ne}{\lambda} \quad (42)$$

Ordre de grandeur : $R = 0,9$, $e = 5$ mm, $n = 1$ et $\lambda = 500$ nm donnent $F \simeq 30$, un intervalle spectral libre de 30 GHz (0,025 nm), des pics de 1 GHz, un ordre $p = 2 \cdot 10^4$ et un pouvoir de résolution de $6 \cdot 10^5$.

3.3.5 Anneaux et applications

Avec une source étendue et une lentille, on observe dans le plan focal des anneaux d'égale inclinaison, comme pour la lame d'air du Michelson, mais fins et brillants sur fond sombre quand R est grand, au lieu de franges sinusoïdales. Si l'on fixe e (étalon), on obtient un filtre ou une référence de fréquence ; si l'on fait varier e ou n , on balaie le spectre. Le Fabry-Pérot sert en spectroscopie de haute résolution (structures fine et hyperfine), de cavité résonnante pour les lasers, et de bras dans les interféromètres de LIGO.

Pour aller plus loin. J.-P. Pérez, *Optique : fondements et applications*, Dunod ; Ch. Fabry et A. Pérot, *Annales de chimie et de physique* (1899) ; P. Hariharan, *Optical Interferometry*, Academic Press.