

1.7 Interféromètre de Rayleigh

Note historique. À la fin du XIXe siècle (vers 1896), lord Rayleigh place deux cuves devant les deux fentes d'un montage d'Young et mesure le déplacement des franges quand on change le gaz d'une des cuves. Il s'en sert pour comparer les indices de réfraction de gaz comme l'argon, qu'il découvre avec William Ramsay en 1894. L'appareil, postérieur au Jamin (1856), reste longtemps un instrument de référence pour la réfractométrie des gaz.

1.7.1 Principe

L'interféromètre de Rayleigh (ou réfractomètre interférentiel de Rayleigh) est un montage de **fentes d'Young** (division du front d'onde) dans lequel deux cuves de même longueur ℓ sont placées devant les deux fentes. Une fente source, éclairée en lumière monochromatique, est placée au foyer d'un collimateur. La double fente découpe deux faisceaux parallèles, qui traversent chacun une cuve ; une lentille forme les franges d'Young dans son plan focal, observées à l'oculaire.

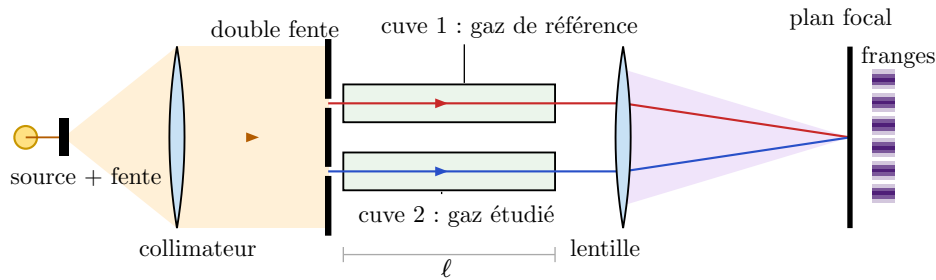


Fig. 8. – Interféromètre de Rayleigh (vue de dessus) : les deux faisceaux issus de la double fente traversent deux cuves, puis interfèrent dans le plan focal de la lentille.

Référence. On part de la même substance dans les deux cuves (de l'air, par exemple) : la différence de marche est nulle et la position des franges sert de référence. On remplit ensuite la cuve 2 avec le gaz étudié et l'on observe le décalage des franges. Dans certains appareils de précision, les cuves ne couvrent que la moitié supérieure des fentes : la moitié inférieure, dont la lumière passe dans l'air, donne un second système de franges de référence juste en dessous du premier.

1.7.2 Décalage des franges

Si l'indice du gaz de la cuve 2 vaut n_2 et celui de la cuve 1 vaut n_1 , la différence de marche supplémentaire est $\delta = (n_2 - n_1)\ell$. L'interfrange des franges d'Young ne change pas : pour des fentes distantes de a et une lentille de focale f , $i = \lambda f/a$ (par exemple $i \simeq 59 \mu\text{m}$ pour $a = 5 \text{ mm}$, $f = 50 \text{ cm}$ et $\lambda = 589 \text{ nm}$). Seule la position des franges change : elles se décalent de $\delta f/a = Ni$ par rapport à la position de référence.

Interféromètre de Rayleigh

$$N = (n_2 - n_1) \frac{\ell}{\lambda} \quad (14)$$

franges de décalage. Un appareil de paillasse permet de mesurer une variation de chemin optique $\Delta(n\ell)$ de l'ordre de 7 nm, soit $\Delta n \simeq 10^{-6}$ pour une cuve de $\ell = 1 \text{ cm}$ (Chen et al., 2002). Pour de l'air contre le vide ($n - 1 \simeq 2,9 \cdot 10^{-4}$), on obtient $N \simeq 490$ franges avec $\ell = 1 \text{ m}$.



Fig. 9. – Champ de l'oculaire (schématique) : remplir la cuve 2 avec le gaz étudié décale les franges par rapport à leur position de référence (cuve 2 remplie d'air, tirets).

Compensateur. Pour mesurer le décalage, on le compense : des lames de verre à faces parallèles, que l'on incline avec une vis micrométrique, introduisent une différence de marche connue et ramènent les franges à leur position de référence. La lecture sur la vis donne N .

Lumière blanche. En lumière monochromatique, deux franges voisines sont identiques et l'on ne peut pas compter un décalage de plusieurs franges. En lumière blanche, la frange centrale est la seule frange non colorée : on la repère et on compte les franges qui défilent quand on remplit la cuve.

1.7.3 Comparaison avec le Jamin et applications

Comme le Jamin, le Rayleigh compare deux gaz côte à côte et mesure des différences d'indice avec une grande précision. Il est plus simple : de simples fentes d'Young remplacent les deux lames épaisses, identiques et soigneusement taillées du Jamin. Les cuves peuvent être longues (jusqu'à un mètre), ce qui augmente la sensibilité.

Applications. Comparaison des indices de gaz purs et analyse de mélanges gazeux, détection du grisou dans les mines, mesure de concentrations de solutions (cuves courtes). L'optique de Rayleigh sert encore, en biochimie, aux ultracentrifugeuses analytiques, qui mesurent les profils de concentration de macromolécules.

En résumé : le Rayleigh est un montage d'Young dont les deux fentes sont suivies de cuves : une différence d'indice $n_2 - n_1$ décale les franges de $N = (n_2 - n_1)\ell/\lambda$, mesurée par rapport à la position de référence (cuves identiques) et ramenée à zéro par un compensateur, d'où une sensibilité de l'ordre de 10^{-6} en indice pour une cuve de 1 cm.

Pour aller plus loin. G. L. Squires, *Practical Physics*, Cambridge University Press ; M. Born et E. Wolf, *Principles of Optics*, Cambridge University Press ; Y. C. Chen, S. J. Kirkpatrick et S. A. Prahl, *Measurement of changes in concentrations of biological solutions using a Rayleigh interferometer* (2002).