

2.9 Variante du Michelson : Twyman-Green

Note historique. Frank Twyman et Alfred Green brevettent en 1916 cette variante du Michelson, destinée à contrôler la qualité des prismes et des lentilles. Elle reste à la base des interféromètres de contrôle optique utilisés aujourd'hui pour les miroirs et les objectifs.

2.9.1 Principe

Le Twyman-Green est un Michelson éclairé par une **onde plane** : une source ponctuelle (usuellement laser) placée au foyer d'un collimateur remplace la source étendue. Chaque bras renvoie un front d'onde plan, et une lentille de projection forme sur la caméra l'image de la surface à tester. On ne cherche plus la différence de marche en fonction de l'inclinaison des rayons, comme dans le Michelson réglé en lame d'air, mais en fonction du **point** (x, y) de la surface : l'interférogramme est une carte de l'écart entre les deux fronts d'onde.

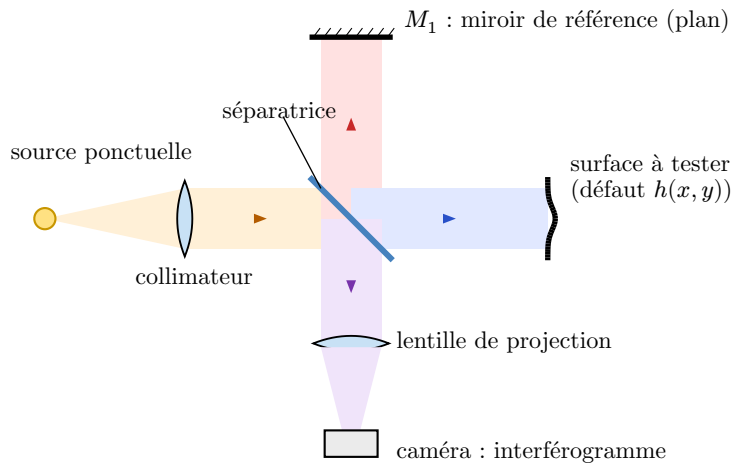


Fig. 25. – Interféromètre de Twyman-Green : un front d'onde plan est divisé, puis recombéné après réflexion sur le miroir de référence M_1 et sur la surface à tester.

2.9.2 Interférogramme d'une surface

Si la surface testée s'écarte d'une hauteur $h(x, y)$ du plan idéal, la différence de marche entre les deux bras est, à une inclinaison près,

$$\delta(x, y) = 2h(x, y). \quad (31)$$

Défaut de surface

$$\delta = 2h = p\lambda \implies h = p\frac{\lambda}{2} \quad (32)$$

Chaque frange est une **ligne de niveau** de la surface, et deux franges voisines correspondent à une différence de hauteur de $\lambda/2$. Avec un laser He-Ne ($\lambda = 632,8$ nm), $\lambda/2 = 316,4$ nm. Un défaut de $\lambda/10$ déplace les franges de $2h/\lambda = 0,2$ interfrange.

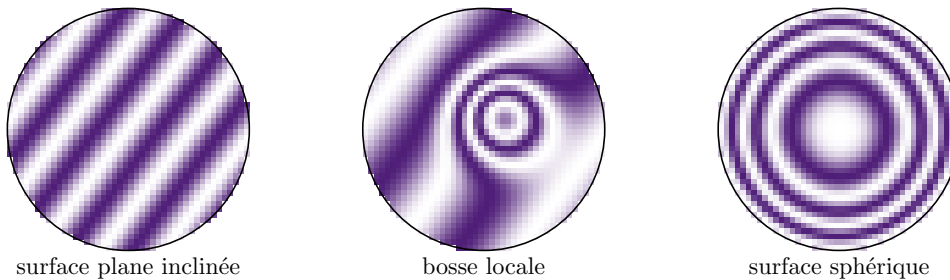


Fig. 26. – Interférogrammes (schématisés) : un miroir plan incliné donne des franges droites, une bosse locale les déforme, une surface sphérique donne des anneaux.

Remarque. La déviation des rayons est négligeable. Une pente locale θ de la surface dévie le rayon réfléchi de 2θ . Pour un pic de N franges, soit une hauteur $h = N\lambda/2$, et de demi-largeur w , on a $2\theta \simeq 2h/w = N\lambda/w$. Avec $N = 2$ ($h = \lambda = 600$ nm) et $w = 0,5$ mm, on trouve $2\theta \simeq 2,4$ mrad, soit un décalage de 0,7 mm au retour d'un bras de 30 cm : bien inférieur à la taille du faisceau. Le faisceau revient donc sur la caméra comme celui d'un plan, et l'interférogramme ne dépend que de la différence de marche $\delta = 2h$. La méthode échoue seulement pour les pentes très fortes (au-delà de quelques mrad) : les franges deviennent plus serrées que les pixels de la caméra.

Lentilles et prismes. Pour tester une lentille, on la place dans le bras de mesure devant un miroir de renvoi qui la fait traverser deux fois : les aberrations déforment les franges (anneaux non équidistants pour l'aberration sphérique) et la mesure d'un écart à la sphère idéale remplace celle d'une hauteur.

2.9.3 Mesure par décalage de phase

Aujourd'hui, le miroir de référence est monté sur une cale piézoélectrique qui le déplace de $\lambda/8$ entre quatre images successives, ce qui décale la phase de $\pi/2$ à chaque fois. Avec $I_k = I_0[1 + \gamma \cos(\varphi + (k-1)\pi/2)]$, on retrouve en chaque pixel

$$\varphi = \arctan\left(\frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}\right), \quad h = \frac{\varphi\lambda}{4\pi}, \quad (33)$$

ce qui donne la forme de la surface avec une précision de l'ordre de $\lambda/100$.

Remarque. Comparaison avec le Shack-Hartmann. Un analyseur de Shack-Hartmann mesure aussi la forme d'un front d'onde $W(x, y)$, mais par optique géométrique et sans interférence : un réseau de microlentilles de focale f_ℓ forme une grille de points sur une caméra, et le déplacement d'un point, $\Delta x = f_\ell \partial W / \partial x$, donne la **pente** locale du front d'onde, qu'il faut ensuite intégrer. Il n'exige ni référence ni lumière cohérente et supporte de fortes aberrations, mais il est moins précis que le Twyman-Green, qui mesure directement la phase. Les deux méthodes sont complémentaires.

2.9.4 Comparaison avec le Michelson

Critère	Michelson	Twyman-Green
Source	étendue (lampe)	ponctuelle et collimatée (laser)
Éclairage	faisceaux de directions variées	onde plane
Franges	anneaux d'égale inclinaison (lame d'air) ou franges d'égale épaisseur (coin d'air)	lignes de niveau de la surface testée
Usage	mesure de longueurs d'onde et de déplacements, spectrométrie	contrôle de surfaces et d'optiques

En résumé : le Twyman-Green est un Michelson éclairé en onde plane : l'interférogramme cartographie $\delta = 2h(x, y)$, une frange correspond à une hauteur de $\lambda/2$, et le décalage de phase donne la forme d'une surface à mieux que $\lambda/100$.

Pour aller plus loin. D. Malacara (éd.), *Optical Shop Testing*, Wiley ; P. Hariharan, *Optical Interferometry*, Academic Press.