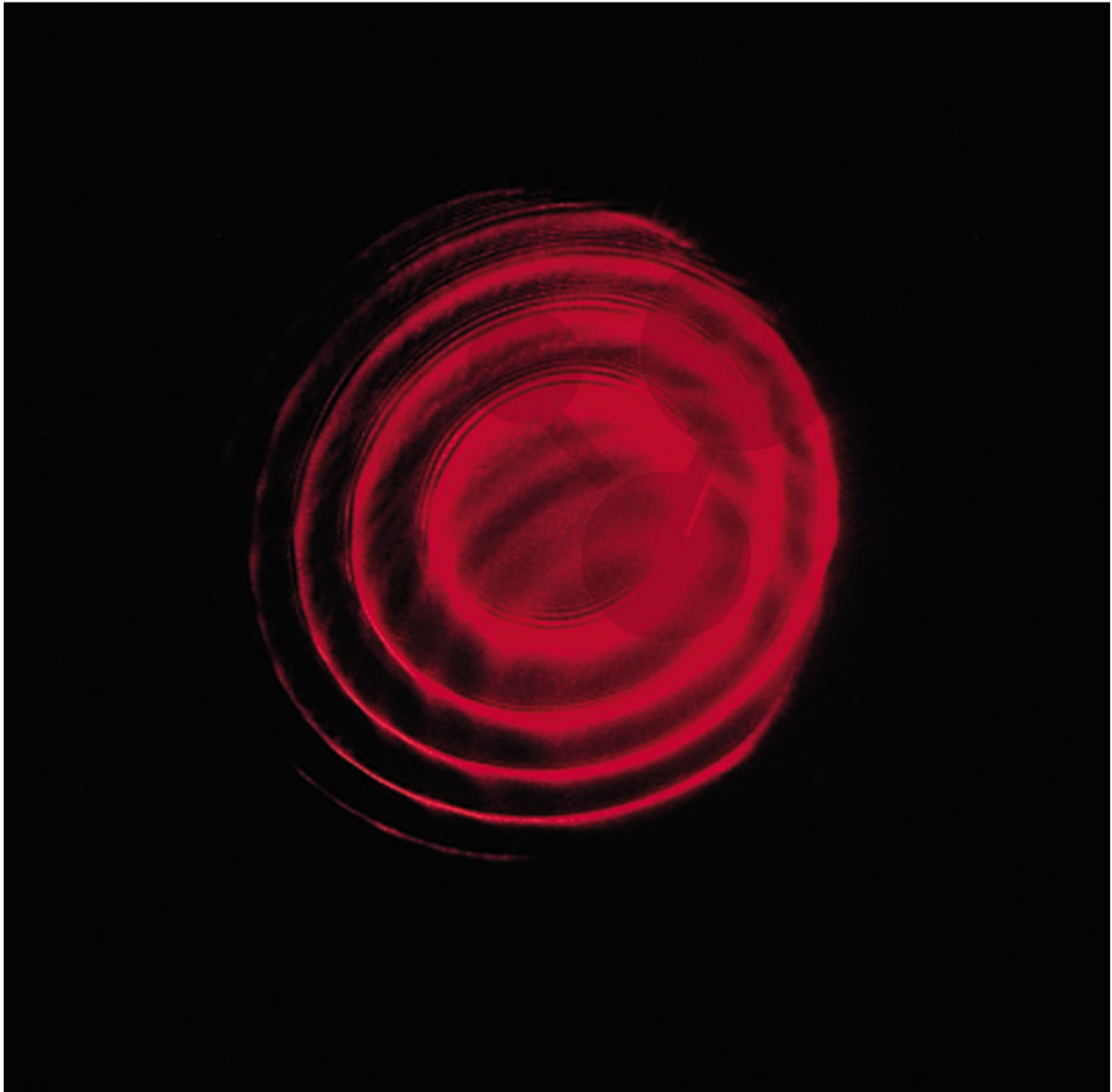


INTERFÉROMÈTRE



Les fondements

L'interférométrie laser est une méthode bien établie pour mesurer les distances avec grande précision.

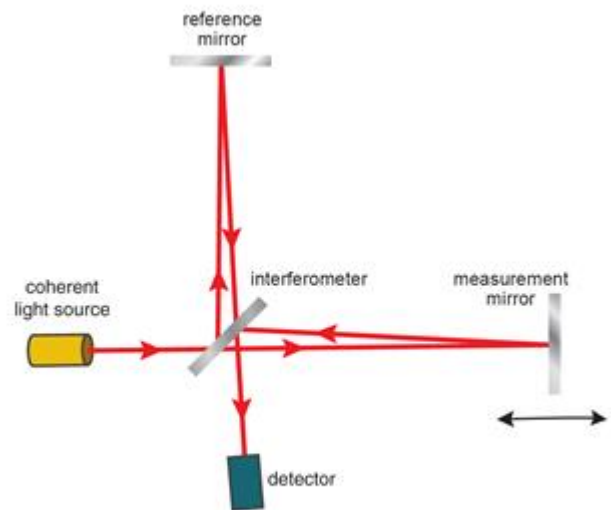
L'interférométrie est un procédé de mesure qui utilise le phénomène d'interférence des ondes (généralement les ondes lumineuses, radio ou acoustiques). Les mesures peuvent concerner certaines caractéristiques des ondes elles-mêmes, et des matériaux avec lesquelles elles interagissent. De plus, l'interférométrie permet de

décrire des techniques qui utilisent les ondes lumineuses pour l'étude des variations de déplacement. Cette interférométrie de mesure du déplacement est largement utilisée pour la calibration et l'asservissement mécanique dans l'usinage de précision.

En utilisant deux faisceaux lumineux (en divisant généralement un faisceau en deux), un diagramme d'interférence peut être formé quand ces deux faisceaux se superposent. Comme la longueur d'onde de la lumière visible est très courte, il est possible de détecter de faibles variations des différences entre les chemins optiques (distance parcourue) des deux faisceaux, puisque ces différences produiront des variations notables dans le diagramme d'interférence. L'interférométrie optique est donc une technique de mesure appréciable utilisée depuis plus de cent ans. Sa précision a ensuite été améliorée grâce à l'invention des lasers.

L'utilisation des principes d'interférence lumineuse en guise d'outil de mesure a été mise en évidence pour la première fois par Albert A. Michelson dans les années 1880, à l'origine du développement du premier interféromètre. Bien que la technologie (et la précision des mesures) ait depuis évolué au fil du temps, les principes de base sous-jacents de l'interféromètre de Michelson restent au cœur de l'interférométrie.

Un interféromètre de Michelson comprend un séparateur de faisceau (miroir semi-argenté) et deux miroirs. Quand la lumière traverse le miroir semi-argenté/séparateur de faisceau (partiellement réfléchissant), elle est divisée en deux faisceaux avec différents chemins optiques (l'un allant vers le miroir 1, et l'autre vers le miroir 2). Après avoir été réfléchis par les miroirs, ces faisceaux se recombinaient au niveau du séparateur de faisceau avant d'arriver au détecteur. Les différences entre les chemins optiques de ces deux faisceaux provoquent une différence de phase à l'origine de franges d'interférence. Ce diagramme est ensuite analysé par le détecteur afin d'évaluer les caractéristiques des ondes, les propriétés des matériaux ou le déplacement d'un des miroirs (selon la mesure que doit effectuer l'interféromètre).



Interférométrie appliquée

Afin de générer un diagramme d'interférence de haute précision (franges distinctes), il est très important d'avoir une unique source de longueur d'onde extrêmement stable, obtenue à l'aide du laser [XL-80](#).

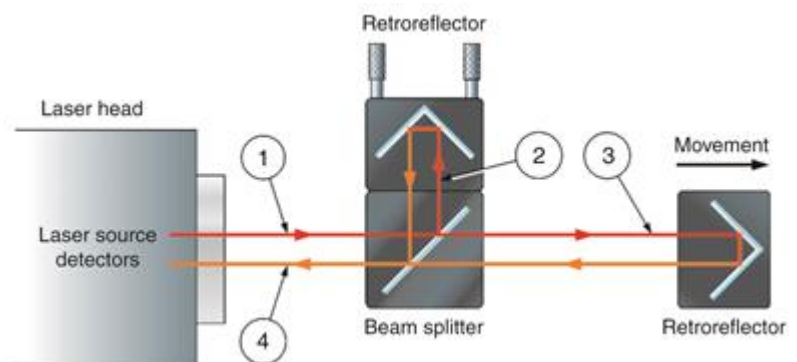
Il existe différentes configurations d'interféromètre basées sur le principe de Michelson, mais la configuration linéaire est néanmoins le type le plus simple à expliquer.

Dans le système laser XL-80, les deux miroirs (utilisés dans l'interféromètre de Michelson) sont des rétroreflecteurs (prismes qui renvoient la lumière incidente dans une direction parallèle à sa direction d'origine). L'un d'eux est fixé au séparateur de faisceau pour former le bras de référence. L'autre rétroreflecteur forme le bras de mesure de longueur variable, car sa distance varie par rapport au séparateur de faisceau.

Le faisceau laser (1) sort de la tête du laser XL-80 et est séparé en deux faisceaux (réfléchi (2) et transmis (3)) au niveau du séparateur de faisceau de polarisation. Ces faisceaux sont renvoyés par les deux rétroreflecteurs, se recombinaient au niveau du séparateur de faisceau avant d'atteindre le détecteur. Les rétroreflecteurs permettent de faire en sorte que les faisceaux provenant des bras de référence et de mesure soient parallèles, au moment où ils se recombinaient au niveau du séparateur de faisceau. Les faisceaux recombinaient arrivent au détecteur où ils interfèrent entre eux, de manière constructive ou destructive. Pendant l'interférence constructive, les deux faisceaux sont en phase ; les crêtes des deux faisceaux se renforcent réciproquement en produisant une frange lumineuse. Pendant l'interférence destructive en revanche, les faisceaux sont déphasés. Les crêtes d'un faisceau sont annulées par les creux de l'autre faisceau ce qui produit une frange sombre.

Le traitement du signal optique par le détecteur permet de constater l'interférence de ces deux faisceaux. Le déplacement du bras de mesure modifie la phase relative des deux faisceaux. Ce cycle d'interférences destructive et constructive soumet l'intensité de la lumière recombinaée à une variation cyclique. Un cycle de variation d'intensité de l'état lumineux à l'état sombre puis de

l'état sombre à l'état lumineux se produit chaque fois que le bras de mesure/rétroreflecteur se déplace de 316,5 nm, à savoir la moitié de la longueur d'onde (car ce déplacement provoque une variation de 633 nm du chemin optique, qui correspond à la longueur d'onde du laser). Par conséquent, le mouvement est mesuré en calculant le nombre de cycles au moyen de la formule suivante :



$$d = \frac{\lambda N}{2}$$

où d est le déplacement (en microns), λ est la longueur d'onde du laser (0,633 microns) et N est le nombre de franges traversées. La résolution maximale de 1 nm est obtenue par interpolation de phase dans ces cycles.

Peu importe la qualité de votre unité laser (autrement dit sa précision et sa stabilité), car la précision des mesures de positions linéaires dépend de celle avec laquelle la longueur d'onde du faisceau laser est connue. La longueur d'onde opérationnelle du faisceau laser dépend de l'indice de réfraction de l'air traversé par le faisceau, sachant que la température de l'air, la pression atmosphérique et l'humidité relative jouent sur cet indice. Par conséquent, la longueur d'onde du faisceau doit être modifiée (par compensation) pour incorporer les changements de ces paramètres, le cas échéant.

Compensation environnementale

Sans une compensation fiable et précise de la longueur d'onde, il est courant de relever des erreurs de 20 ppm à 30 ppm dans les mesures linéaires quand des variations des valeurs nominales de température, d'humidité et de pression se combinent (même si les conditions de test restent stables). Ces erreurs peuvent être réduites par un

compensateur environnemental (XC-80) faisant en sorte que les mesures du XL-80 maintiennent leur précision sur un large éventail de conditions. Le graphique ci-après à droite illustre un exemple d'erreur dans un système d'interférométrie non compensé, ainsi que la source de ces erreurs.

Le XC-80 mesure la température de l'air, la pression et l'humidité, puis calcule l'indice de réfraction de l'air (et donc la longueur d'onde du laser). La lecture laser est ensuite ajustée en compensation des variations de la longueur d'onde du laser. L'avantage d'un système automatique est qu'aucune intervention humaine n'est requise, et que la compensation est mise à jour régulièrement.

Interférométrie à distance

Certains systèmes placent le diviseur de faisceau/interféromètre à l'intérieur de la tête laser. La dilatation thermique de la tête laser modifie la longueur du trajet de mesure et exige un temps de préchauffage supplémentaire avant de pouvoir prendre des mesures précises. Renishaw contourne ce problème avec un diviseur de faisceau installé à distance.

