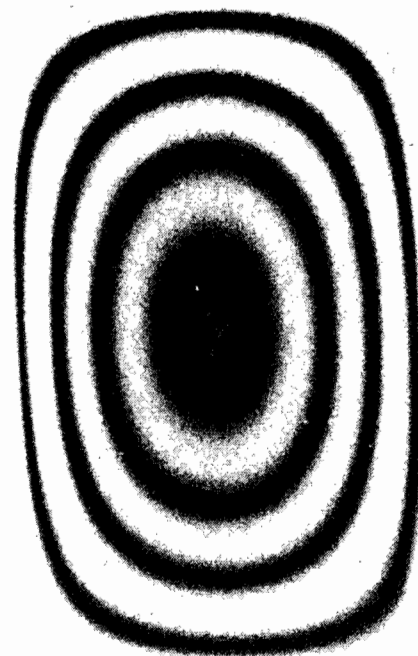


# LES LASERS

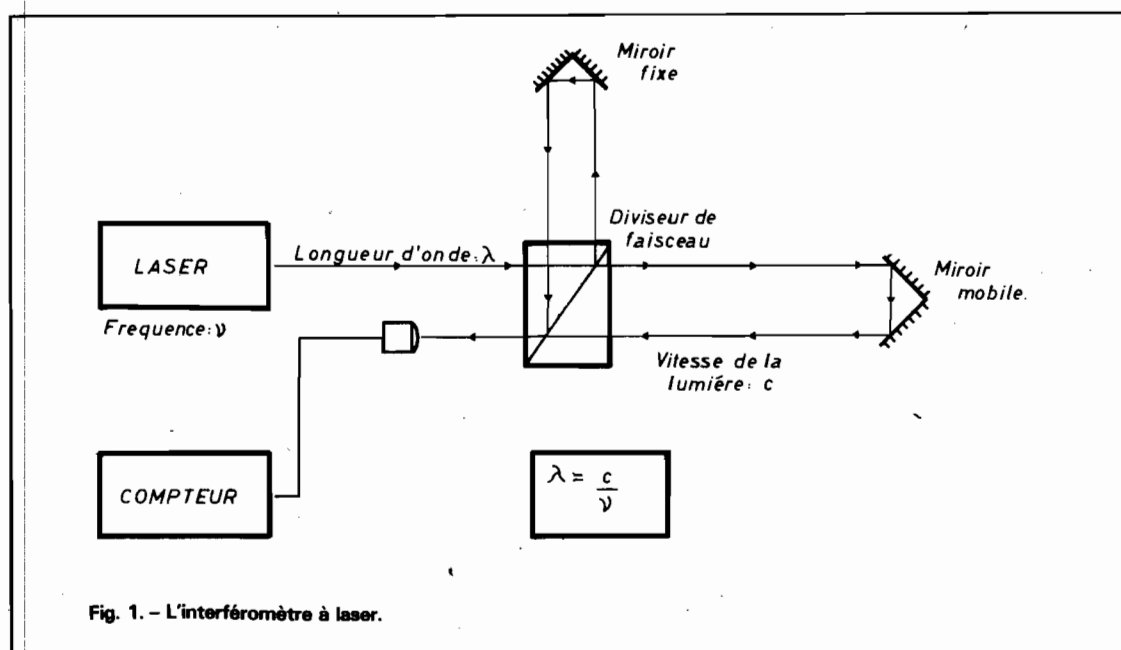


Marc FERRETTI

## COMMENT AMÉLIORER LES MESURES DE DISTANCE PAR LASER ?

**L**A vitesse de la lumière est une constante universelle. Sa mesure est réalisée depuis plus de 100 ans et sa valeur est, aujourd'hui, connue avec une erreur d'un dix-millionième. Cette vitesse est absolument constante dans le vide, mais elle varie lorsque la lumière traverse des milieux transparents.

C'est ainsi que la vitesse de la lumière n'est pas constante dans l'air, et sa valeur change avec la température de l'air, la pression ambiante et l'humidité. Et dans les applications précises du laser, par exemple en interférométrie, la précision des mesures va dépendre de la connaissance de ces paramètres. En particulier la mesure des distances peut être gravement perturbée par des variations locales des caractéristiques atmosphériques.



## IL EST DIFFICILE DE MESURER DIRECTEMENT LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

La mesure directe de la vitesse de la lumière n'est pas aisée ; il est préférable d'effectuer une mesure des divers paramètres atmosphériques (pression, température, humidité) et de calculer ensuite la vitesse de la lumière corrigée par les valeurs de ces paramètres.

Un interféromètre à laser mesure des distances à l'aide d'une technique développée au cours du siècle dernier par Michelson (\*). Un faisceau lumineux (fig. 1) est divisé en deux faisceaux qui parcourent des chemins optiques différents, et qui, après avoir été réfléchis par des miroirs, se recombinent et interfèrent. Le réseau d'interférences ainsi créé dépend de la différence de phase entre les deux faisceaux, donc de différence entre les longueurs des chemins optiques. Si l'un des miroirs, sur lequel se réfléchit l'un des deux faisceaux, est mobile, cette différence de longueur va varier ; il en va de même de la différence de phase ; enfin, le réseau d'interférences va évoluer : les franges claires et sombres qui constituent ce dernier vont défiler devant une diode photosensible de comptage. A chaque frange claire, la diode émet une impulsion ; celle-ci correspond à un déplacement du miroir mobile sur une distance égale à la moitié de la longueur d'onde du faisceau laser. En multipliant le contenu du compteur (préalablement remis à zéro) par la demi-longueur d'onde, on détermine ainsi la distance parcourue par le miroir mobile, et également la distance parcourue par le support de ce miroir.

Un laser émet une onde de fréquence stable, bien connue. Le produit de cette fréquence, par la longueur d'onde du faisceau, est égal à la vitesse de la lumière ; c'est là une loi de l'électromagnétique.

Si, donc, le faisceau laser de l'interféromètre traverse une atmosphère où la température varie (comme cela peut être le cas dans les applications aux machines-outils, le travail des matériaux chauffant l'air) la vitesse de la lumière va varier ; et comme la fréquence du laser est constante, c'est sa longueur d'onde qui va être modifiée.

\* Voir, à ce sujet, l'article du mois dernier, consacré aux interféromètres à laser.

Pratiquement, on va compter, grâce à l'interféromètre, un certain nombre de franges ayant défilé devant la photodiode, mais l'on ne saura pas convertir ce nombre en mesure de déplacement, parce que l'on ne connaît pas exactement la longueur d'onde. Une mesure précise de distance nécessite, par conséquent, une mesure précise de la vitesse de la lumière. Comme la stabilité en fréquence d'un laser est extrêmement élevée (la variation de fréquence s'évalue en dix-millionièmes !), il faudrait, pour utiliser pleinement toutes les ressources offertes par un laser, évaluer au dix-millionième près la vitesse de la lumière émise par le laser... les appareils de mesures industrielles ne permettent pas d'atteindre une telle précision, et il est préférable de ne pas tenter de déterminer directement la vitesse de la lumière.

L'indice de réfraction d'un milieu transparent représente le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide à celle dans le milieu considéré. Des formules empiriques ont été établies qui permettent d'évaluer l'indice de réfraction de l'air connaissant la tempé-

rature et la pression ambiantes, ainsi que la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air. Dans la plupart des cas, la variation de l'indice de l'air avec les conditions ambiantes, est inférieure à 0,01 % ; cette mesure de variation d'indice peut être évaluée grâce aux formules empiriques, à 0,1 % près. Dans ces conditions, il est possible de connaître l'indice de l'air à un dix-millionième près.

### LA LONGUEUR D'ONDE

L'une de ces formules empiriques, valables pour de l'air sec et les longueurs d'ondes proches de 0,6328 micron (longueur d'onde émise par un laser à hélium-néon), est la suivante :

$$n = 1 + a P/T$$

où : n est l'indice de réfraction, P la pression atmosphérique en millimètres de mercure, T la température de l'air en degrés Kelvin (\*\*), et la constante a vaut :

$$a = 104,79 \times 10^{-6}$$

Dans cette formule, on écrit simplement que l'indice de l'air varie linéairement avec la masse volumique de l'air.

Quant à la vitesse de la lumière (donc à la longueur d'onde du laser), elle est inversement proportionnelle à l'indice de réfraction. Comme, pour l'air, la valeur de l'indice est très voisine de l'unité, il est possible d'écrire, en première approximation.

$$1/n = 1 - a P/T$$

Ainsi à la pression atmosphérique normale (P = 760 mm) et à la température ambiante (T = 300°K) la valeur de 1/n est : 0,9997345. Pour connaître exactement une distance au moyen d'un interféromètre à laser, il suffit de multiplier cette valeur par le nombre de franges comptées et par la longueur d'onde du laser dans le vide. Pratiquement, ce calcul peut être effectué électroniquement, en associant à l'interféromètre un capteur de pression et des thermistances pour la mesure de température. Un amplificateur opérationnel effectue la division de la pression par la température, et un convertisseur analogique-digital fournit au calculateur associé à l'interféromètre à laser des signaux binaires capables d'être traités directement. On peut, également, transformer directement la pression et la température, grandeurs analogiques, en signaux digitaux, puis effectuer leur division au moyen d'une petite unité arithmétique. D'autres possibilités existent telle que la technique « d'intégration à double rampe » ; celle-ci permet d'effectuer simultanément le calcul de l'inverse de l'indice de réfraction et la conversion analogique-digital.

Les formules précédentes sont valables pour de l'air sec ; si l'air est humide, elles doivent être corrigées pour tenir compte de l'humidité atmosphérique : la valeur de 1/n est corrigée proportionnellement à la pression partielle de vapeur d'eau, grandeur aisément mesurable.

Marc FERRETTI

### VIENT DE PARAITRE



## APPAREILS MODERNES DE MESURE EN BF - RADIO TELEVISION

F. HURÉ

Essentiellement pratique, ce livre est indispensable à tous les électroniciens car aucun travail sérieux ne peut être exécuté sans appareils de mesure. Cet ouvrage décrit une gamme complète d'appareils ultra-modernes, dont la réalisation est à la portée de l'amateur.

#### Extrait du sommaire :

Contrôleurs. Voltmètres. Multimètres. Fréquencemètres. Ohmmètres. Capacimètres. Générateurs. Oscilloscopes. Wattmètres. Vobulateurs. Distorsiomètres.

**Volume broché, 144 pages, format 15 x 21, couverture quadrichromie, 25 F.**

En vente à la

**LIBRAIRIE PARISIENNE DE LA RADIO**  
43, rue de Dunkerque, 75010 PARIS  
Tél. : 878-09-94/95 - C.C.P. 4949.29 PARIS

(Aucun envoi contre remboursement - Ajouter 15% pour frais d'envoi à la commande)

### BIBLIOGRAPHIE

« Measuring the variable speed of light improves laser distance measurement » par J.D. Garman et J.J. Corcoran. Electronics, 24 avril 1972.

(\*\*) Si la température ambiante est t en degrés centigrades, la valeur de la température absolue T, en degrés Kelvin, est, approximativement égale à : T = t + 273.