

# Les mesures de vitesse de la lumière



## 8. La vitesse de la lumière et le mètre

◆ Avant 1960, l'unité de longueur était matérialisée par un objet physique, qui fut d'abord le mètre des Archives (Fig. 1), dont la longueur était proche de la millionième partie du méridien terrestre, calculée d'après la mesure du méridien de Paris de Dunkerque à Barcelone faite par Jean-Baptiste Delambre (1749-1822) et Pierre Méchain (1744-1804). Puis ce fut en 1889 un mètre étalon déposé au pavillon de Breteuil à Sèvres, construit de manière à ce que sa longueur soit aussi proche que possible de celle du précédent. Au vu des difficultés que présentait le repérage précis des traits gravés sur le mètre du pavillon de Breteuil, ce qui ne permettait qu'une précision de l'ordre de  $10^{-6}$  sur la longueur, la définition a été changée en 1960 : la longueur du mètre a alors été basée sur la longueur d'onde dans le vide d'une transition de l'isotope 86 de l'atome de krypton, émise par une lampe spectrale. Cependant, on a observé que le profil de cette raie était légèrement asymétrique, d'où une nouvelle difficulté pour utiliser cet étalon qui n'était précis qu'à  $10^{-8}$ . Il fallait trouver mieux.

◆ Les progrès des techniques rendaient envisageable la mesure simultanée de la fréquence  $\nu$  et de la longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide de la raie spectrale d'un laser dans l'infrarouge. Par définition, ces deux quantités sont liées et leur produit n'est autre que la vitesse de la lumière :  $c = \nu \lambda$ . La longueur d'onde pouvait être rattachée directement à celle de la raie du krypton définissant le mètre, ce qui permettait d'assurer la continuité avec la définition du mètre alors en vigueur ; la fréquence pouvait de son côté être directement comparée à celle d'un maser\* à césium, à partir de laquelle est définie l'unité de temps, la seconde. Ces mesures peuvent être extrêmement précises. Le Laboratoire Primaire du Temps et de Fréquences (LPTF) de l'Observatoire de Paris, qui est aujourd'hui devenu le SYRTE, y a largement contribué. Il devenait donc possible de donner une nouvelle définition du mètre à partir de la seconde et de la vitesse de la lumière dans le vide, dont la théorie de la relativité restreinte d'Einstein, abondamment vérifiée dans toutes ses conséquences, postule qu'elle est une constante universelle. La Conférence Générale des Poids et des Mesures a donc décidé en octobre 1983 que le mètre ne serait plus une unité fondamentale, mais une unité dérivée de la seconde et de la vitesse de la lumière, à laquelle on donnerait une valeur conventionnelle choisie de façon à assurer la meilleure continuité possible de la longueur du mètre [299 792 458 mètres par seconde exactement]. Dorénavant, selon la nouvelle définition officielle :

*Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de  $1/299\,792\,458$  de seconde.*

◆ La précision avec laquelle est défini le mètre n'est donc plus limitée que par la précision sur la définition de la seconde, qui dépend de la stabilité des masers à césium, qui est de l'ordre de  $10^{-15}$  et que l'on cherche continuellement à améliorer.

◆ Pour l'expérience du LPTF (Fig. 2) la fréquence d'un laser hélium-néon infrarouge de longueur d'onde 3,39 micromètres, multipliée par un nombre connu grâce à une chaîne de multiplication de fréquences, a été directement comparée à celle du maser à césium à partir de laquelle est définie la seconde.

◆ Aujourd'hui, le laboratoire continue à travailler dans ce domaine en mesurant la fréquence des lasers utilisés pour la mise en pratique de la définition du mètre. Heureusement, depuis le début des années 2000, l'emploi d'une nouvelle technique basée sur un laser femtoseconde a permis de simplifier grandement ces expériences. Désormais la mesure de la fréquence des lasers est presque routinière et le système complet tient sur une table optique de petites dimensions.

◆ Tout ceci peut paraître à première vue d'un intérêt limité. Il faut cependant réaliser que les mesures précises de distance sur la Terre, qu'elles soient faites par des topographes sur de grandes distances ou par des géomètres dans les propriétés privées ou publiques, n'utilisent plus des règles ou des chaînes d'arpenteur, mais des GPS ou des télémètres qui mesurent le temps de propagation d'ondes électromagnétiques : lumière visible ou infrarouge, ou ondes radio. Si le GPS nous permet de savoir où nous sommes au mètre près, nous guide pour nous rendre d'un endroit à un autre, et permet même de mesurer le déplacement relatif des plaques tectoniques ce qui implique une précision centimétrique, c'est aussi en utilisant la vitesse de la lumière. La nouvelle définition du mètre est donc passée dans la vie courante, ce que l'on n'avait sans doute pas envisagé clairement en 1983.

\* Maser et Laser reposent sur le même principe mais diffèrent par leur longueur d'onde : M est pour « microonde » donc radio centimétrique ou décimétrique, et L pour lumière, avec extension des rayons X à l'infrarouge lointain.



Figure 1. Le mètre  
© Observatoire de Paris

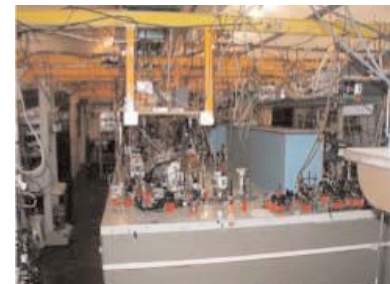


Figure 2. Une partie de la chaîne qui a permis de mesurer jusqu'à très récemment au LPTF des fréquences dans le domaine optique