

La nouvelle définition du mètre (*)

par P. CARRÉ,

Bureau International des Poids et Mesures
Pavillon de Breteuil, 92310 Sèvres.

En France, le mètre avait été matérialisé en 1799 par la distance entre les faces extrêmes d'une règle de section rectangulaire, en platine aggloméré. La longueur de cette règle, qui fut déposée aux Archives de la République, reproduisait aussi fidèlement que possible la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre.

En 1889, la Première Conférence Générale des Poids et Mesures (C.G.P.M.) sanctionna « le Prototype du mètre » choisi par le Comité International et déclara : « Ce prototype représentera désormais, à la température de la glace fondante, l'unité métrique de longueur ». La C.G.P.M. donnait ainsi, implicitement, la définition du mètre qui fut précisée par la 7^e C.G.P.M., en 1927 : le mètre était défini par la distance à 0°C des axes de deux traits gravés sur le prototype en platine iridié déposé au Bureau International des Poids et Mesures.

Ainsi, la définition de 1889, première définition internationale, continuait à faire appel à un étalon matériel. Sa précision avait été bien améliorée par l'emploi du platine iridié, de préférence au platine, le choix d'une section en X plutôt que rectangulaire et l'adoption d'un étalon « à traits » au lieu d'un étalon « à bouts ». Elle était largement suffisante pour l'époque puisque l'incertitude correspondante n'était que d'un dixième de micromètre environ.

Cependant, il devint rapidement clair que l'étalon de longueur devait être recherché dans une longueur d'onde lumineuse et non dans les dimensions d'un objet matériel dont la stabilité ne peut jamais être garantie absolument. L'utilisation des radiations optiques, dont les longueurs d'onde avaient été comparées au mètre, progressa rapidement en même temps que s'intensifièrent les études de ces radiations, qui sont loin d'avoir la simplicité que l'on aurait souhaitée.

L'exactitude des mesures interférentielles risquait d'être limitée par l'incertitude avec laquelle les longueurs d'onde lumineuses

(*) *N.D.L.R.* : Voir l'article de C. RUHLA dans le B.U.P. n° 655 (juin 1983), intitulé : « Le mètre est mort, vive la lumière ».

pouvaient être connues à partir du mètre étalon. En 1960, le moment était venu d'adopter comme étalon de longueur une longueur d'onde lumineuse. La 11^e C.G.P.M. décida donc que le mètre serait désormais la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'onde dans le vide d'une radiation spécifiée du krypton 86. On estime que cette définition était environ 100 fois plus précise que la précédente.

Or, avant même qu'elle ne soit promulguée, on parlait déjà des « lasers », sources de radiations optiques dont les qualités exceptionnelles de pureté spectrale avaient été remarquées. Il sembla bientôt évident que la radiation de référence, celle du krypton 86, devrait tôt ou tard être remplacée par une radiation de laser. Mais, en effectuant un tel changement, on aurait pris le risque de devoir changer à nouveau la définition du mètre chaque fois qu'une radiation de meilleure qualité aurait été découverte.

Heureusement, un fait nouveau apparut. En 1969, on réussit à stabiliser un laser à hélium-néon émettant dans l'infrarouge et à mesurer sa longueur d'onde (par comparaison à la radiation étalon du krypton 86). En 1972, on réussit à mesurer sa fréquence (par comparaison à l'étalon à césium qui définit la seconde). Or, la fréquence f et la longueur d'onde dans le vide λ d'une même radiation sont liées à la vitesse de la lumière dans le vide c par la relation $\lambda f = c$. La vitesse de la lumière dans le vide pouvait donc être déduite de cette double mesure de longueur d'onde et de fréquence. Les mesures furent répétées complètement ou partiellement dans les grands laboratoires nationaux de métrologie (aux Etats-Unis d'Amérique, en Grande-Bretagne, en U.R.S.S., en France, au Canada, en Australie, en Allemagne) et au Bureau International des Poids et Mesures. On obtint $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$, avec une précision qui n'avait jamais été atteinte auparavant. En effet, les mesures de fréquence étant extrêmement précises, l'incertitude de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ sur cette valeur était due presque exclusivement à l'incertitude sur la longueur d'onde, elle-même due essentiellement à l'incertitude de la réalisation du mètre à partir d'une lampe à krypton.

Il est très choquant pour un physicien que l'exactitude avec laquelle on peut déterminer une constante physique fondamentale soit limitée par le choix antérieur de la définition d'une unité. Il devenait alors plus satisfaisant d'adopter pour la vitesse de la lumière dans le vide une valeur, dans une certaine mesure arbitraire, mais cependant cohérente avec les résultats expérimentaux. C'est dans ce sens que la 15^e C.G.P.M., en 1975, recommanda pour cette grandeur la valeur donnée précédemment et déclara qu'elle devrait rester inchangée dans l'avenir.

Cette déclaration, prise à la lettre, constituait déjà implicitement une nouvelle définition du mètre. Une fois faites les nom-

breuses et délicates expériences destinées à vérifier la valeur admise, il ne restait plus qu'à mettre au point le texte définitif d'une telle définition et en particulier à choisir entre diverses formulations équivalentes. La définition proposée à la 17^e C.G.P.M. et adoptée le 20 octobre 1983 est la suivante :

« 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 nouvelle définition n'apportera naturellement aucune perturbation dans la vie courante ni aucun changement dans nos mesures de tous les jours. Elle sera simplement plus facile à enseigner que la précédente.

Du point de vue purement scientifique, elle n'apportera pas de bouleversements importants dans la métrologie des longueurs. Une mise en pratique directe, au moyen de la mesure d'une durée de propagation d'une onde lumineuse n'est guère envisageable que pour les très grandes distances, par exemple les distances interplanétaires. Or, cette méthode est employée couramment depuis plus de dix ans et, depuis 1975, on utilise pour la vitesse de la lumière la valeur recommandée, c'est-à-dire celle qui résulte désormais de la nouvelle définition du mètre. Dans les laboratoires, on fera une mise en pratique indirecte. En principe, la radiation de n'importe quelle source suffisamment stable pourra être utilisée : il suffira de mesurer sa fréquence f pour connaître sa longueur d'onde λ en appliquant la relation $\lambda = c/f$. En pratique, on utilisera les radiations de lasers dont les longueurs d'onde, déterminées par des laboratoires spécialisés, auront été recommandées ; c'est ce que l'on fait déjà très souvent (*).

A la demande de la 17^e C.G.P.M., le Comité International des Poids et Mesures (C.I.P.M.) a donné dans sa Recommandation 1 (CI-1983) des instructions pour la mise en pratique de la définition du mètre et une liste de radiations recommandées, avec une estimation des incertitudes sur leur fréquence ou leur longueur d'onde.

Cette liste comprend les radiations données au tableau ci-après ainsi que des radiations de lampes spectrales : la radiation de l'atome de ^{86}Kr utilisée dans la précédente définition du mètre, avec $\lambda = 605\,780\,210$ fm et une incertitude relative de $\pm 4 \times 10^{-9}$, et d'autres radiations de ^{86}Kr , ^{198}Hg et ^{114}Cd déjà recommandées en 1963, avec une incertitude relative supérieure aux précédentes.

(*) Voir à ce sujet l'article de J. TERRIEN (B.U.P. n° 645, juin 1982, p. 961-965) qui conserve tout son intérêt. Les longueurs d'onde données dans cet article sont à peine modifiées aujourd'hui ; il en est de même de la longueur d'onde de la raie orangée du ^{86}Kr :

(1 m/1 650 763,73 = 605 780 210,6 fm).

Tableau

**RADIATIONS DE LASERS
ASSERVIS SUR DES RAIES D'ABSORPTION SATURÉE**

Laser	Molécule absorbante	Bande, raie, composante	Fréquence en mégahertz	Longueur d'onde en femtomètres	Incertitude relative
He-Ne	CH ₄	$\nu_3, P(7), F_2^{(2)}$	88 376 181,608	3 392 231 397,0	$\pm 1,3 \times 10^{-10}$
colorant ou He-Ne*	$^{127}\text{I}_2$	17-1, P(62), o	520 206 808,51	576 294 760,27	$\pm 6 \times 10^{-10}$
He-Ne	$^{127}\text{I}_2$	11-5, R(127), 1	473 612 214,8	632 991 398,1	$\pm 1 \times 10^{-9}$
He-Ne	$^{127}\text{I}_2$	9-2, R(47), o	489 880 355,1	611 970 769,8	$\pm 1,1 \times 10^{-9}$
Ar ⁺	$^{127}\text{I}_2$	43-0, P(13), a ₃	582 490 603,6	514 673 466,2	$\pm 1,3 \times 10^{-9}$

Le gain de précision apporté dans les mesures de longueur les plus raffinées par l'utilisation des lasers est à l'heure actuelle compris entre 10 et 100, mais la nouvelle définition ouvre de plus larges perspectives. Sa précision potentielle est celle de l'unité de temps, cent mille fois meilleure que celle de l'unité de longueur fondée sur le krypton, et elle pourra sans doute être encore améliorée. De plus, la nouvelle définition s'appuie sur une constante physique universelle et non plus sur un objet matériel ni même sur une radiation émise par une substance particulière. Elle offre donc de très bonnes garanties de pérennité.

* Radiation d'un laser à He-Ne à $\lambda \approx 1,15 \mu\text{m}$ dont la fréquence est doublée dans un cristal non linéaire.