

« Le nouveau kilogramme sera plus pratique »

À partir de 2018, le kilogramme sera défini à partir de la constante de Planck et non d'un cylindre de platine conservé dans un coffre-fort près de Paris. Richard Davis nous explique pourquoi cette nouvelle définition sera plus fiable et, surtout, plus pratique d'utilisation.



Richard DAVIS est ancien directeur du département responsable de la masse au BIPM (Bureau international des poids et mesures), à Sèvres, près de Paris.

POUR LA SCIENCE

Quels sont les inconvénients du Grand K, le prototype étalon du kilogramme ?

RICHARD DAVIS : Le Grand K est utilisé depuis 1889 comme référence. Il s'agit d'un cylindre de platine iridié conservé sous vide sous une triple cloche pour le protéger de la poussière. Pour s'assurer que sa masse ne varie pas, elle est comparée à celle de six « témoins », des cylindres identiques au Grand K, conservés dans le même coffre-fort.

Depuis 1889, la masse des témoins a augmenté de 50 microgrammes par rapport à celle du Grand K. Comme cette différence est relative, il est difficile de conclure si le Grand K a perdu de la masse, si les témoins en ont gagné, ou, pire, si tous les cylindres ont pris du poids et que nous ne mesurons ici qu'un détail de cette évolution.

Diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer cette déviation. Par exemple, si un gaz prisonnier du platine du Grand K s'en échappe au fur et à mesure, celui-ci perdrait de la masse. Mais un tel gaz n'a pas été décelé. Nous n'avons pas d'explication satisfaisante pour l'instant.

Du fait du manque de fiabilité de l'étalon, les métrologues ont décidé de changer de référence.

PLS

La nouvelle définition se veut donc plus fiable, plus précise et plus pratique ?

R. D. : Absolument. La nouvelle définition repose sur la constante de Planck, qui apparaît dans la théorie quantique. Cette constante h est reliée notamment à l'énergie d'un photon: $E = h\nu$, où ν est la fréquence lumineuse. Et comme on peut aussi convertir la masse en énergie grâce à la formule d'Einstein $E = mc^2$, il est assez naturel de relier le kilogramme à la constante de Planck.

Le comité chargé de redéfinir les unités a la volonté de faire des choix pratiques pour les métrologues. Pour le kilogramme, nous ne serons plus tributaires d'un objet unique, le Grand K, d'autant peu accessible qu'il est rarement extrait de son coffre. Tout laboratoire équipé des bons instruments pourra étalonner une masse de façon fiable et précise à partir de la constante de Planck.

PLS

Concrètement, comment la nouvelle définition du kilogramme sera-t-elle mise en œuvre ?

R. D. : La future définition du kilogramme n'impose pas la méthode utilisée pour convertir la constante de Planck en une

masse. Contrairement au cas de la seconde, par exemple, définie à partir de la fréquence d'une radiation du césium 133 – alors que ce n'est peut-être plus aujourd'hui le moyen le plus précis pour mesurer le temps. En ce qui concerne la constante de Planck et le kilogramme, un des deux moyens les plus précis actuellement est la balance du watt. Celle-ci ressemble à une balance classique, mais on y compare la force de pesanteur à une force électromagnétique, du type force de Laplace, la mesure de cette dernière étant reliée à la constante de Planck.

Dans le processus de redéfinition du kilogramme, on utilise aujourd'hui les balances du watt pour mesurer la constante de Planck avec une bonne précision, afin d'en fixer ultérieurement la valeur une fois pour toutes. Ces expériences sont délicates, car beaucoup d'effets peuvent perturber les mesures.

Il existe deux balances très performantes en fonctionnement, celle du NIST, l'Institut américain des normes et technologies, et une autre au Canada, qui est pour l'instant la plus précise. D'autres sont en cours de développement : une au BIPM, une au Laboratoire national de métrologie et d'essais, à Trappes, une en Suisse et une en Corée. En Chine, les chercheurs développent une balance du joule, au principe équivalent.

PLS

Existe-t-il une autre méthode pour mesurer la constante de Planck ?

R.D. : Une approche complémentaire consiste à relier le kilogramme à la constante de Planck en passant par la masse d'un atome de silicium. L'idée est d'utiliser une boule parfaitement sphérique de silicium sans aspérités et dont la structure cristalline doit être sans défauts ni impuretés. Connaissant le volume occupé par un atome dans le réseau cristallin et le volume de la sphère, on peut évaluer le nombre N d'atomes de silicium dans la sphère, qui est identique au rapport de la masse m de la sphère à la masse d'un seul atome de silicium. Il faut ensuite relier la masse d'un atome de silicium avec la constante de Planck. Ce lien ne dépend pas du Grand K et les physiciens l'ont mesuré (avec des techniques d'interférométrie atomique par exemple) avec une grande précision, meilleure que celle demandée pour la redéfinition du kilogramme.

PLS

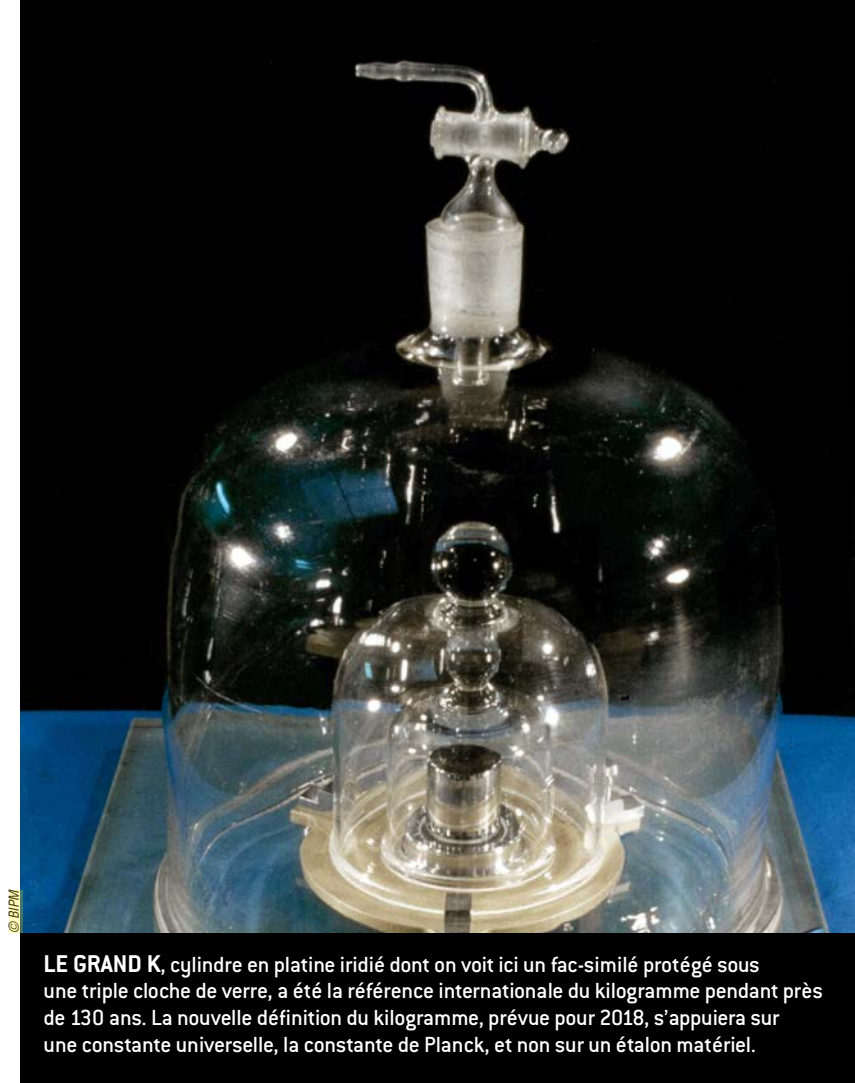
Où en sommes-nous dans le processus de redéfinition du kilogramme ?

R.D. : Nous suivons une feuille de route avec un calendrier précis. Les laboratoires mesurent actuellement la constante de Planck. Certaines contraintes ont été fixées : trois expériences (balance du watt ou sphère de silicium) doivent avoir une incertitude inférieure à 50 pour 1 milliard, dont une avec une précision meilleure que 20 pour 1 milliard, ce qui est le cas pour la balance canadienne et pour la sphère de silicium. Ces résultats doivent être acceptés pour publication d'ici au 1^{er} juillet 2017. Si tout se passe bien, la Conférence générale des poids et mesures se réunira pour adopter une nouvelle définition du kilogramme à l'automne 2018.

PLS

Quel impact sur les laboratoires de métrologie cette redéfinition du kilogramme aura-t-elle ?

R.D. : Après la Conférence générale, il faudra mettre en place cette nouvelle défini-



LE GRAND K, cylindre en platine iridiée dont on voit ici un fac-similé protégé sous une triple cloche de verre, a été la référence internationale du kilogramme pendant près de 130 ans. La nouvelle définition du kilogramme, prévue pour 2018, s'appuiera sur une constante universelle, la constante de Planck, et non sur un étalon matériel.

tion dans les laboratoires, ce qui prendra plusieurs mois. Le BIPM jouera un rôle important de coordination à ce stade.

Les balances du watt ne seront pas utilisées au quotidien, au moins dans un premier temps. Elles sont trop complexes à faire fonctionner. Elles seront donc utilisées, à l'instar du Grand K, de temps en temps pour étalonner un prototype de référence. Ces étalons matériels sont pratiques et ont fait leurs preuves en usage quotidien.

Bien sûr, on peut aussi imaginer que le directeur d'un laboratoire de métrologie voudra utiliser sa balance du watt plus régulièrement pour faire des étalonnages. Le développement des balances du watt ne s'arrêtera donc pas avec la mesure de la constante de Planck. En outre, d'autres laboratoires voudront peut-être construire leur propre balance du watt. Ici encore, le BIPM continuera de jouer un rôle de coordination en s'assurant que ceux qui souhaitent étalonner le kilogramme puissent le faire avec une précision suffisante.

Finalement, cela va peu changer le quotidien des métrologues, mais ils travailleront à partir d'une définition plus fiable et pratique du kilogramme. Le seul

domaine qui pourrait connaître un changement est celui des électroniciens, qui utilisent des unités fondées sur une valeur conventionnelle de la constante de Planck. Lorsque la valeur de cette constante sera fixée une fois pour toutes, celles utilisées par les électroniciens seront modifiées, mais de façon infime. Et une fois la transition opérée, il n'y aura pas besoin d'y revenir.

PLS

Les étalons matériels resteront utiles. Qu'en est-il du Grand K ?

R.D. : Le Grand K ne va pas non plus disparaître avec la nouvelle définition du kilogramme. La Convention du mètre, signée en 1875 et toujours en vigueur, impose la conservation du prototype international au BIPM dans les conditions préconisées. De même, nous avons toujours la barre de platine qui définissait le mètre à l'époque.

En outre, le Grand K sera probablement confronté à une balance du watt pour enfin savoir si sa masse était stable ou si elle avait au contraire varié. ■

Propos recueillis par Sean Bailly