

Aujourd'hui, le kilogramme constitue une anomalie : c'est la dernière unité de mesure encore associée à un objet matériel... Mais plus pour très longtemps. D'ici à la fin 2018, le Grand K prendra sa retraite. Le kilogramme aura une nouvelle définition fondée sur la constante de Planck, une constante fondamentale intervenant dans les lois de la physique quantique et reliée à la quantité d'énergie que peut transporter un unique photon, la particule de lumière.

## Quand le kilogramme maigrit

Mais pourquoi ne plus utiliser le Grand K ? Depuis des années, les métrologues rêvent d'un étalon international de masse précis et fiable, qui soit relié à des constantes fondamentales de la nature plutôt qu'à un morceau de métal d'un autre temps. Et il y a une raison beaucoup plus pressante à vouloir trouver un successeur au Grand K : ce dernier semble perdre de la masse ! Une fois tous les trente ans environ, le Grand K est extrait de son coffre pour être nettoyé et comparé à six copies officielles, les « témoins », conservés dans le même coffre. Lorsque les deux premiers témoins ont été comparés au Grand K en 1889, leur différence a été déterminée avec une grande précision. Mais, en 1946, lorsque le Grand K a été comparé à ses six témoins, la différence avait changé. Le Grand K pesait 30 microgrammes de moins que ces derniers. En 1992, la différence était passée à 50 microgrammes, l'équivalent d'une aile de mouche.

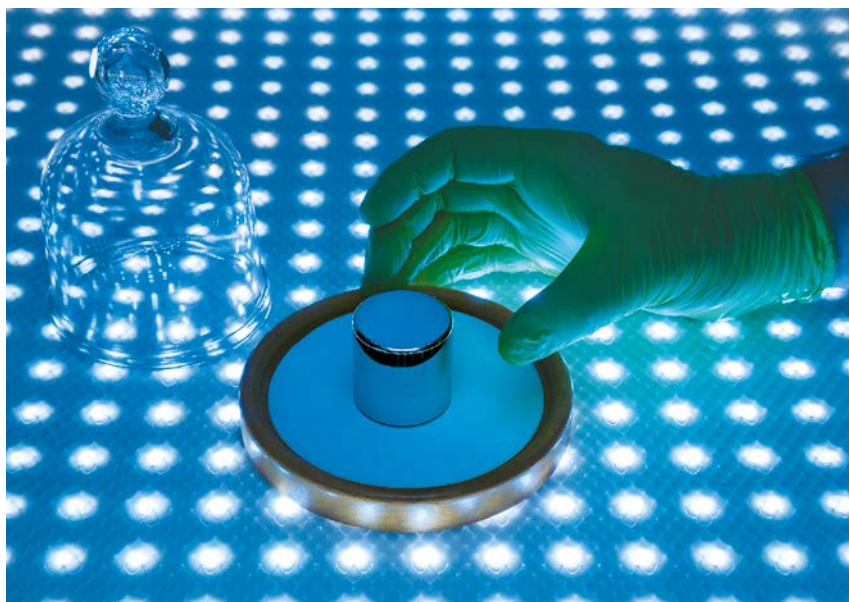
### ■ L'AUTEUR



Tim FOLGER est journaliste scientifique. Il contribue régulièrement aux revues

*National Geographic, Discover et Scientific American.*

**K20, L'UN DES ÉTALONS AMÉRICAINS** du kilogramme, est un cylindre de platine iridié, comme le Grand K. Il est l'un des deux prototypes attribués aux États-Unis en 1889.



© Richard Barnes

Il est peu probable que les deux témoins aient pris du poids tandis que le Grand K serait resté égal à lui-même. Pour Michael Stock, directeur du département Métrologie en physique du BIPM, il est plus probable que le prototype international du kilogramme ait perdu de la masse. Du fait de cette incertitude, les membres de la Conférence générale des poids et mesures (l'organisme décisionnel en matière de métrologie et, en particulier, des unités du système international) ont décidé en 2011 qu'une nouvelle référence de masse est nécessaire.

Personne ne sait pour quelle raison le Grand K perd de la masse. Et il reste trop précieux pour autoriser sur cet objet les tests qui pourraient apporter une réponse. Ainsi, ce problème pose la question de la fiabilité de cet étalon et donc de la définition du kilogramme.

## Vers un nouvel étalon

Et les conséquences du problème du Grand K ne se limitent pas à la question de la masse. L'incertitude sur la valeur du kilogramme se propage à d'autres unités fondamentales. Ainsi, l'unité de force, le newton, est définie à partir du kilogramme, puis le newton intervient pour expliciter le joule, l'unité d'énergie, et le joule est lié au watt, l'unité de puissance, et ainsi de suite. En fin de compte, cette petite incertitude entache chaque mesure du monde physique. Par ailleurs, on se sert de certaines de ces unités pour définir la valeur des constantes fondamentales ; or, comme l'explique Michael Stock, « nous en sommes au point où la valeur de certaines constantes fondamentales varie parce que le prototype international du kilogramme varie. C'est absurde. »

Le kilogramme n'est pas la seule des sept unités de base du système métrique à être repensée. Le système international (SI) des unités regroupe le kilogramme, le mètre, l'ampère (pour l'intensité d'un courant électrique), la seconde, la candela (pour mesurer l'intensité lumineuse), la mole (qui relie la masse d'un objet au nombre d'atomes qu'il contient) et le kelvin (pour la température).

Trois unités du système international ont été redéfinies ces dernières décennies. On définissait autrefois la seconde comme une fraction de la durée d'un jour ; avec l'avènement des horloges atomiques, dans les années 1960, la durée correspondant à la seconde a été redéfinie en 1967 comme

étant l'inverse de la fréquence d'un rayonnement particulier émis par les atomes de césium. En 1983, le mètre, jusque-là défini comme la distance séparant deux encoches dans une barre de platine iridié conservée dans le même coffre que le Grand K, est devenu la distance parcourue par la lumière dans le vide en  $1/299\,792\,458$  de seconde. Et la définition de la candela a été revue en 1979 (voir l'encadré page 66).

## Créer un système d'unités universel

À l'instar du kilogramme, la mole, le kelvin et l'ampère sont programmés pour être redéfinis en 2018. L'ampère, par exemple, est dans une situation assez étrange. Sa définition officielle est si abstraite qu'elle ne peut être reproduite en laboratoire : elle implique de mesurer la force qui s'exerce entre deux fils parallèles infiniment longs, sans épaisseur et sans masse, parcourus par un courant électrique. À compter de 2018, l'ampère sera défini à partir de la charge de l'électron. Actuellement, on étudie plusieurs approches pour la mettre en œuvre. Elles font appel à divers effets quantiques et des dispositifs capables de compter des électrons un par un dans un circuit.

Des réflexions sont déjà en cours pour redéfinir la candela sur des principes quantiques ou de revoir la définition de la seconde. Mais ces améliorations ne sont pas prévues avant au moins une quinzaine d'années.

La redéfinition du kilogramme est de loin la plus urgente. Elle s'inscrit au cœur d'un effort visant à créer un système d'unités réellement universel, qui ne serait pas lié à des conventions arbitraires et anthropocentrées. En principe, les nouvelles unités devraient avoir du sens pour des êtres intelligents vivant sur d'autres planètes. Pour les métrologues, c'est un moment unique dans l'histoire des unités.

Cette idée d'universalité remonte à la Révolution française, quand le système métrique est né. Auparavant, partout en France, des règles locales définissaient les poids et les longueurs. Les normes variaient d'une ville à l'autre, et pas moins de 700 unités de mesure étaient en vigueur dans le pays. Une toise, par exemple, était l'équivalent du *fathom* anglais : la distance entre les deux bras écartés. Mais la toise parisienne n'était pas forcément identique à la toise utilisée à Marseille. Les savants de l'époque ont donc voulu mettre fin à

ce chaos en créant un nouveau système qui soit universel, « à tous les temps, à tous les peuples ». C'est dans ce contexte qu'est né le premier kilogramme étalon, le prédécesseur du Grand K.

Richard Davis a dirigé l'ancien département de recherche sur la masse au BIPM, et assistait le directeur du bureau dans ses responsabilités de maintenance du Grand K. Il explique qu'« en 1791, l'idée était que les étalons devaient reposer sur des phénomènes naturels et immuables. Nous travaillons aujourd'hui à partir de cette même idée. » La différence est que les métrologues d'aujourd'hui se fondent sur des constantes naturelles réellement invariables.

Après la Révolution française, l'histoire des étalons du kilogramme s'est déroulée au pavillon de Breteuil, à Sèvres, qui héberge le BIPM depuis 1875, lorsque le traité de la Convention du mètre a été signé par dix-sept nations. Pendant la Seconde Guerre mondiale, des bombardements ont fait trembler le pavillon. D'après la Convention, l'étalon ne peut quitter ce lieu. Il a alors été décidé de placer le Grand K dans un coffre antichoc spécial. Les témoins, eux, ont été mis à l'abri dans un coffre au sous-sol de la Banque de France.

Il est nécessaire de nettoyer de temps en temps le Grand K et de le comparer aux témoins. Cette opération est loin d'être anodine ; elle n'a d'ailleurs été réalisée que quatre fois depuis 1889. D'abord, on doit extraire le Grand K du caveau où est entreposé le coffre-fort. Le caveau est fermé grâce à trois verrous différents dont les clés sont réparties entre le directeur du BIPM, le directeur des Archives nationales de Paris et le président du Comité international des poids et mesures (CIPM), qui supervise le travail du BIPM. Ainsi, les trois représentants doivent être présents pour accéder au coffre-fort, lequel est protégé à son tour par un code. À l'intérieur, le Grand K est isolé sous une triple cloche. Le coffre contient aussi les six témoins.

Les trois porteurs des clés se réunissent une fois l'an pour ouvrir le caveau et vérifier que le Grand K est toujours là, mais

En 2018,  
quand le kilogramme  
sera défini à partir de  
la constante de Planck,  
**le Grand K**  
deviendra une curiosité  
historique