

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

CHANGER LES UNITÉS DE MESURE

Le Système international (SI) est adopté

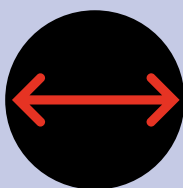
officiellement par la plupart des pays du monde (les trois exceptions étant la Birmanie, le Liberia et les États-Unis). Il est fondé sur sept unités de mesure, à partir desquelles on définit 22 autres unités (telles que le newton, le joule, le tesla, le volt, le pascal, etc.). En 2018, le Comité international des poids et mesures redéfinira quatre de ces unités de base. Les valeurs de quatre constantes de la nature (la constante de Planck h , la charge électrique élémentaire e , la constante de Boltzmann k_B et le nombre d'Avogadro N_A) seront fixées précisément afin de donner une nouvelle définition au kilogramme, à l'ampère, au kelvin et à la mole. Le mètre, la seconde et la candela ne changent pas de définition, au moins dans un futur proche.

Les unités qui ne changent pas de définition

Unité : **Mètre (m)**
Mesure de la longueur

Définition actuelle (1983)

En 1983, la Conférence générale des poids et mesures a défini la vitesse de la lumière dans le vide comme étant égale à 299 792 458 mètres par seconde. Le mètre est donc la distance parcourue par la lumière dans le vide en 1/299 792 458 de seconde.



Note historique

Lorsque l'Académie des sciences française a proposé le système métrique en 1791, le mètre a été défini comme 1/10 000 000 de la moitié du méridien reliant le pôle Nord au pôle Sud en passant par Paris.



Unité : **Seconde (s)**
Mesure du temps

Définition actuelle (1967)

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Note historique

La définition originale de la seconde est 1/86 400 de jour solaire terrestre moyen.

Unité : **Candela (cd)**
Mesure de l'intensité lumineuse

Définition actuelle (1979)

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique à une longueur d'onde de 555 nanomètres et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de 1/683 de watt par stéradian. En pratique, dans le cas d'une source émettant plusieurs fréquences, on utilise des fonctions de pondération décrivant la sensibilité spectrale relative de l'œil humain.

Note historique

Au début du XX^e siècle, la candela était définie à partir de l'intensité lumineuse d'une lampe à filament de carbone. En 1933, la définition a été améliorée en se référant au rayonnement du corps noir.



il est hors de question d'y toucher. Finalement, peu de membres du BIPM ont vu le Grand K, et même les photos officielles sont celles d'un fac-similé. « Je l'ai vu une fois », nous raconte Susanne Picard, qui travaille au pavillon de Breteuil depuis 1987.

Pour le nettoyage, on suit scrupuleusement un protocole. Un technicien saisit le cylindre brillant avec une pince recouverte de peau de chamois et le transporte jusqu'au site de nettoyage. On le frotte alors avec une peau de chamois imbibée d'alcool et d'éther, puis on le rince deux fois avec de l'eau distillée. Un jet d'azote gazeux permet de le sécher. L'opération dure environ une heure.

Le BIPM a expérimenté différentes techniques de nettoyage sur des masses tests – en utilisant des rayonnements ultraviolets par exemple –, mais ces méthodes

rendaient les objets trop propres. Michael Stock explique qu'en effet, « ces techniques décapent trop bien la surface du cylindre ; elles enlèvent plus de saletés que la méthode traditionnelle, la surface devient alors très instable car beaucoup trop réactive. » Le Grand K deviendrait alors beaucoup moins fiable. Dès lors, le Bureau en reste à la méthode habituelle.

Après le nettoyage, l'équipe apporte le Grand K et les témoins dans une salle blanche où se trouve le comparateur de masses, un instrument d'une valeur de près de 500 000 euros capable de détecter des différences de masse de l'ordre du microgramme. Au quotidien, le département des masses du BIPM utilise le comparateur de masses et dix étalons de référence pour effectuer diverses opérations de calibrage.

On ne sort le Grand K et ses témoins que toutes les quelques décennies pour vérifier les étalons nationaux.

Une mesure difficile

Quand la nouvelle définition du kilogramme sera fondée sur la constante de Planck, le Grand K ne sera plus qu'une curiosité historique. Cette constante est notée h et est égale à environ $6,626 \times 10^{-34}$ joule · seconde. Son unité combine l'énergie et le temps, mais on peut la relier à la masse en utilisant la relation d'Einstein $E = mc^2$, où c est la vitesse de la lumière dans le vide. Comme G , la constante newtonienne de la gravitation, la constante de Planck apparaît dans la théorie, mais sa valeur ne peut être déterminée que par l'expérience.