

CHANGER LES UNITÉS DE MESURE

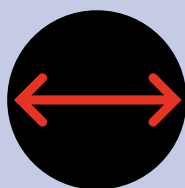
Le Système international (SI) est adopté officiellement par la plupart des pays du monde (les trois exceptions étant la Birmanie, le Liberia et les États-Unis). Il est fondé sur sept unités de mesure, à partir desquelles on définit 22 autres unités (telles que le newton, le joule, le tesla, le volt, 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.

Les unités à redéfinir

Unité : **Kilogramme (kg)**
Mesure de la masse

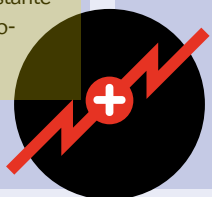
Définition actuelle (1889)

Le kilogramme est défini à partir du Grand K, un cylindre de platine iridié conservé au BIPM, à Sèvres.



Redéfinition proposée

Programmée pour 2018, la redéfinition du kilogramme le liera à la constante de Planck, qui est issue de la théorie quantique et qui précise, par exemple, la quantité d'énergie que porte un photon, la particule de lumière. En fixant la valeur numérique de la constante de Planck, les métrologues définiront le kilogramme.



Unité : **Ampère (A)**
Mesure du courant électrique

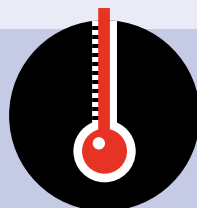
Définition actuelle (1946)

Un ampère est l'intensité d'un courant constant qui, s'il est maintenu dans deux conducteurs linéaires et parallèles, de longueurs infinies, de sections négligeables, et distants de 1 mètre dans le vide, produit entre ces deux conducteurs une force linéaire égale à 2×10^{-7} newton par mètre. En pratique, cette définition n'est pas reproductible de façon exacte en laboratoire.

Redéfinition proposée

En fixant la valeur numérique de la charge élémentaire e (environ $1,6 \times 10^{-19}$ ampère·seconde, ou coulomb), l'ampère sera redéfini comme un flux de charges élémentaires par seconde. On pourra aussi redéfinir les unités de tension et de résistance via

les constantes de Josephson et de von Klitzing, qui dépendent de e et de la constante de Planck.



Unité : **Kelvin (K)**
Mesure de la température

Définition actuelle (1967)

Le kelvin est égal à $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau (où coexistent les phases solide, liquide et gazeuse). En pratique, cette définition crée des incertitudes importantes pour des températures basses (inférieures à 20 kelvins) ou élevées (supérieures à 1300 kelvins).

Redéfinition proposée

Le kelvin sera défini en fixant la valeur de la constante de Boltzmann, égale à environ $1,380 65 \times 10^{-23}$ joule par kelvin. La constante de Boltzmann relie l'énergie cinétique moyenne des molécules d'un gaz à la température du gaz.

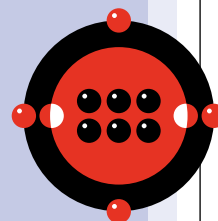
Unité : **Mole (mol)**
Mesure de la quantité d'une substance donnée

Définition actuelle (1971)

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires (atomes, molécules, etc.) qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12. Ce nombre, égal à environ $6,022 14 \times 10^{23}$, définit le nombre d'Avogadro, qui dépend donc de la définition du kilogramme.

Redéfinition proposée

La mole sera définie en fixant la valeur du nombre d'Avogadro.



Pour effectuer la transition du kilogramme d'un étalon matériel à un étalon immatériel et quantique, le BIPM a défini une stratégie en deux étapes. Dans un premier temps, les laboratoires nationaux de métrologie de cinq pays ont utilisé la même valeur de la constante de Planck pour tester la cohérence du futur système métrologique. Ils ont pesé leurs étalons nationaux en fonction de cette valeur et les ont envoyés au BIPM pour comparer leurs résultats.

C'est précisément ce qui a été réalisé l'été dernier lorsque Jon Pratt a apporté les étalons américains au BIPM. Les résultats seront annoncés au cours de cette année 2017. S'ils sont satisfaisants, les équipes inverseront le processus et utiliseront chacune leur étalon national pour ajuster le plus

précisément leurs mesures de la constante de Planck. On fixera alors définitivement la valeur de cette dernière, et l'on définira le kilogramme à partir de cette valeur choisie.

Pour relier la constante de Planck à la masse, les métrologues utilisent deux approches très différentes et complémentaires, une boule de silicium (*voir l'entretien avec Richard Davis, pages 70 et 71*) et un dispositif complexe, nommé balance du watt (aussi nommée balance de Kibble en hommage à son inventeur, le physicien anglais Bryan Kibble, décédé en 2016). Les expériences utilisant les balances du watt sont si ardues qu'en 2012 la revue britannique *Nature* les a classées parmi les cinq projets les plus difficiles en physique, avec la recherche du boson de Higgs et celle des ondes gravitationnelles.

En mai dernier, j'ai accompagné Stephan Schlamminger, métrologue au NIST, sur le site hébergeant la plus ancienne des deux balances du watt du NIST. La plupart des mesures de la constante de Planck ont été effectuées sur cet appareil. La nouvelle balance, achevée en 2014, fonctionne globalement de la même façon.

Si l'extérieur du bâtiment fait penser à une ferme, l'intérieur vous plonge dans un autre monde, à l'image des romans de Jules Verne. Les murs sont protégés avec des plaques de cuivre jusqu'au deuxième étage et tout l'équipement est en laiton. Stephan Schlamminger explique que le fer est pros crit, et que le cuivre et le laiton protègent les instruments des champs magnétiques extérieurs. Mais à l'intérieur, le champ magnétique produit est assez puissant