

• **Sur l'éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI**

Résolution 1

La Conférence générale des poids et mesures (CGPM), à sa 24^e réunion,

considérant

- qu'il existe un consensus international sur l'importance, la valeur et les bénéfices potentiels de la redéfinition d'un certain nombre d'unités du Système international d'unités (SI),
- que les laboratoires nationaux de métrologie et le Bureau international des poids et mesures (BIPM) ont, à juste titre, déployé des efforts considérables au cours de ces dernières décennies afin de faire progresser le Système international d'unités (SI), en repoussant les limites de la métrologie, de façon à ce que les unités de base du SI puissent être définies en s'appuyant sur les constantes de la nature – les constantes physiques fondamentales ou les propriétés des atomes,
- qu'un exemple marquant du succès de ces efforts est la définition actuelle de l'unité de longueur du SI, le mètre (17^e réunion de la CGPM, 1983, Résolution 1), qui relie l'unité à une valeur exacte de la vitesse de la lumière dans le vide c , à savoir 299 792 458 mètres par seconde,
- que parmi les sept unités de base du SI, seul le kilogramme est encore défini à partir d'un objet matériel (artefact), à savoir le prototype international du kilogramme (1^{re} réunion de la CGPM, 1889 ; 3^e réunion de la CGPM, 1901), et que les définitions de l'ampère, de la mole et de la candela dépendent du kilogramme,
- que, bien que le prototype international ait rendu des services à la science et la technologie depuis qu'il a été sanctionné par la CGPM lors de sa 1^{re} réunion en 1889, son utilisation présente des limites importantes, l'une des plus significatives étant que sa masse n'est pas explicitement reliée à une constante de la nature et que, par conséquent, sa stabilité à long terme ne peut être garantie,
- que la CGPM, lors de sa 21^e réunion en 1999, a adopté la Résolution 7, laquelle recommande que « les laboratoires nationaux poursuivent leurs efforts pour affiner les expériences qui relient l'unité de masse à des constantes fondamentales ou atomiques et qui pourraient, dans l'avenir, servir de base à une nouvelle définition du kilogramme »,
- que de nombreux progrès ont été effectués ces dernières années pour relier la masse du prototype international à la constante de Planck h , par des méthodes telles que les expériences de la balance du watt ou les mesures de la masse d'un atome de silicium,
- que les incertitudes associées à l'ensemble des unités électriques du SI réalisées, directement ou indirectement, au moyen de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique et à partir des valeurs dans le SI des constantes

de Josephson et de von Klitzing, K_J et R_K , pourraient être réduites de manière significative si le kilogramme était redéfini de façon à ce qu'il soit relié à une valeur numérique exacte de h , et si l'ampère était redéfini de façon à ce qu'il soit relié à une valeur numérique exacte de la charge élémentaire e ,

- que la définition actuelle du kelvin se fonde sur une propriété intrinsèque de l'eau qui, bien qu'étant une constante de la nature, dépend dans la pratique de la pureté et de la composition isotopique de l'eau utilisée,
- qu'il est possible de redéfinir le kelvin de façon à le relier à une valeur numérique exacte de la constante de Boltzmann k ,
- qu'il est également possible de redéfinir la mole de façon à la relier à une valeur numérique exacte de la constante d'Avogadro N_A , de sorte qu'elle ne dépende plus de la définition du kilogramme, même lorsque le kilogramme sera défini de façon à le relier à une valeur numérique exacte de h , ce qui mettrait en évidence la distinction entre les grandeurs quantité de matière et masse,
- que les incertitudes liées aux valeurs d'autres constantes fondamentales et facteurs de conversion d'énergie importants seraient éliminées ou réduites de façon considérable si h , e , k et N_A avaient des valeurs numériques exactes lorsqu'elles sont exprimées en unités du SI,
- que la CGPM, lors de sa 23^e réunion en 2007, a adopté la Résolution 12 qui expose le travail à accomplir par les laboratoires nationaux de métrologie, le BIPM et le Comité international des poids et mesures (CIPM), ainsi que ses Comités consultatifs, afin que les nouvelles définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole fondées sur des constantes fondamentales puissent être adoptées,
- que, bien que des progrès notables aient été réalisés, tous les objectifs fixés par la Résolution 12 adoptée par la CGPM à sa 23^e réunion n'ont pas été atteints, ce qui ne permet pas au CIPM de soumettre une proposition finalisée,
- qu'il est néanmoins désormais possible de présenter une version claire et détaillée de ce qui sera sans doute proposé,

prend acte de l'intention du Comité international des poids et mesures de proposer une révision du SI qui se présenterait de la manière suivante :

- le Système international d'unités, le SI, sera le système d'unités selon lequel :
 - la fréquence de la transition hyperfine dans l'état fondamental de l'atome de césium 133 $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ est égale à exactement 9 192 631 770 hertz,
 - la vitesse de la lumière dans le vide c est égale à exactement 299 792 458 mètres par seconde,

- la constante de Planck h est égale à exactement $6,626\ 06X \times 10^{-34}$ joule seconde,
- la charge élémentaire e est égale à exactement $1,602\ 17X \times 10^{-19}$ coulomb,
- la constante de Boltzmann k est égale à exactement $1,380\ 6X \times 10^{-23}$ joule par kelvin,
- la constante d'Avogadro N_A est égale à exactement $6,022\ 14X \times 10^{23}$ par mole,
- l'efficacité lumineuse K_{cd} d'un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} Hz est égale à exactement 683 lumens par watt,

où

(i) les unités hertz, joule, coulomb, lumen et watt, qui ont respectivement pour symbole Hz, J, C, lm, et W, sont reliées aux unités seconde, mètre, kilogramme, ampère, kelvin, mole et candela, qui ont respectivement pour symbole s, m, kg, A, K, mol, et cd, selon les relations $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$, $\text{C} = \text{s A}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$, et $\text{W} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$,

(ii) le symbole X dans le présent projet de résolution correspond à un ou plusieurs chiffres qui devront être ajoutés aux valeurs numériques de h , e , k , et N_A selon les valeurs résultant de l'ajustement le plus récent fourni par la CODATA,

ce qui signifie que le SI continuera à être établi sur les sept unités de base actuelles et que notamment

- le kilogramme restera l'unité de masse mais son amplitude sera déterminée en fixant la valeur numérique de la constante de Planck à exactement $6,626\ 06X \times 10^{-34}$ lorsqu'elle sera exprimée en $\text{m}^2 \text{kg s}^{-1}$, unité du SI égale au joule seconde, J s,
- l'ampère restera l'unité de courant électrique mais son amplitude sera déterminée en fixant la valeur numérique de la charge élémentaire à exactement $1,602\ 17X \times 10^{-19}$ lorsqu'elle sera exprimée en s A, unité du SI égale au coulomb, C,
- le kelvin restera l'unité de température thermodynamique mais son amplitude sera déterminée en fixant la valeur numérique de la constante de Boltzmann à exactement $1,380\ 6X \times 10^{-23}$ lorsqu'elle sera exprimée en $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$, unité du SI égale au joule par kelvin, J K⁻¹,
- la mole restera l'unité de quantité de matière d'une entité élémentaire spécifique, c'est-à-dire un atome, une molécule, un ion, un électron, ou toute autre particule ou groupe particulier de telles particules, mais son amplitude sera déterminée en fixant la valeur numérique de la constante d'Avogadro à exactement $6,022\ 14X \times 10^{23}$ lorsqu'elle sera exprimée en unité du SI mol⁻¹.

La Conférence générale des poids et mesures,

note également

- que les nouvelles définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole seront rédigées en utilisant une formulation dite « à constante explicite », c'est-à-dire une définition dans laquelle l'unité est définie indirectement en donnant explicitement une valeur exacte à une constante fondamentale reconnue,
- que la définition actuelle du mètre est reliée à une valeur exacte de la vitesse de la lumière dans le vide, qui est également une constante fondamentale reconnue,
- que la définition actuelle de la seconde est reliée à une valeur exacte caractérisant une propriété bien définie de l'atome de césium, qui constitue également une constante de la nature,
- que la définition existante de la candela n'est pas liée à une constante fondamentale mais qu'elle peut être considérée comme étant reliée à une valeur exacte d'une constante de la nature,
- que l'intelligibilité du Système international d'unités serait renforcée si toutes ses unités de base étaient définies en utilisant la même formulation,

c'est pourquoi le Comité international des poids et mesures proposera également

de reformuler les définitions actuelles de la seconde, du mètre et de la candela selon une forme complètement équivalente qui pourrait être la suivante :

- la seconde, symbole s, est l'unité de temps ; son amplitude est déterminée en fixant la valeur numérique de la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 au repos, à une température de 0 K, à exactement 9 192 631 770 lorsqu'elle est exprimée en s^{-1} , unité du SI égale au hertz, Hz,
- le mètre, symbole m, est l'unité de longueur ; son amplitude est déterminée en fixant la valeur numérique de la vitesse de la lumière dans le vide à exactement 299 792 458 lorsqu'elle est exprimée en unité du SI $m s^{-1}$,
- la candela, symbole cd, est l'unité d'intensité lumineuse dans une direction donnée ; son amplitude est déterminée en fixant la valeur numérique de l'efficacité lumineuse d'un rayonnement monochromatique d'une fréquence de 540×10^{12} Hz à exactement 683 lorsqu'elle est exprimée en $m^{-2} kg^{-1} s^3 cd sr$ ou en $cd sr W^{-1}$, unité du SI égale au lumen par watt, $lm W^{-1}$.

Il sera ainsi manifeste que les définitions des sept unités de base du SI découlent naturellement des sept constantes précédemment indiquées.

En conséquence, à la date choisie pour mettre en œuvre la révision du SI

- la définition du kilogramme en vigueur depuis 1889, établie à partir de la masse du prototype international du kilogramme (1^{re} réunion de la CGPM, 1889 ; 3^e réunion de la CGPM, 1901), sera abrogée,
- la définition de l'ampère en vigueur depuis 1948 (9^e réunion de la CGPM, 1948), établie à partir de la définition proposée par le Comité international des poids et mesures (CIPM, 1946, Résolution 2), sera abrogée,
- les valeurs conventionnelles de la constante de Josephson K_{J-90} et de la constante de von Klitzing R_{K-90} adoptées par le Comité international des poids et mesures (CIPM, 1988, Recommandations 1 et 2) à la demande de la CGPM (18^e réunion de la CGPM, 1987, Résolution 6) pour l'établissement des représentations du volt et de l'ohm à l'aide des effets Josephson et Hall quantique, respectivement, seront abrogées,
- la définition du kelvin en vigueur depuis 1967/68 (13^e réunion de la CGPM, 1967/68), établie à partir d'une définition antérieure moins explicite (10^e réunion de la CGPM, 1954, Résolution 3), sera abrogée,
- la définition de la mole en vigueur depuis 1971 (14^e réunion de la CGPM, 1971, Résolution 3), selon laquelle la masse molaire du carbone 12 a la valeur exacte de $0,012 \text{ kg mol}^{-1}$, sera abrogée,
- les définitions existantes du mètre, de la seconde et de la candela, en vigueur depuis leur adoption par la CGPM lors de ses 17^e (1983, Résolution 1), 13^e (1967/68, Résolution 1) et 16^e (1979, Résolution 3) réunions respectivement, seront abrogées.

La Conférence générale des poids et mesures,

prend en considération qu'à la même date

- la masse du prototype international du kilogramme $m(\mathcal{K})$ sera égale à 1 kg, avec cependant une incertitude relative égale à celle de la valeur recommandée de h juste avant la redéfinition, puis sa valeur sera déterminée de façon expérimentale,
- la constante magnétique (la perméabilité du vide) μ_0 sera égale à $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$, avec cependant une incertitude relative égale à celle de la valeur recommandée de la constante de structure fine α , puis sa valeur sera déterminée de façon expérimentale,
- la température thermodynamique du point triple de l'eau T_{TPW} sera égale à 273,16 K, avec cependant une incertitude relative égale à celle de la valeur recommandée de k juste avant la redéfinition, puis sa valeur sera déterminée de façon expérimentale,

- la masse molaire du carbone 12 $M(^{12}\text{C})$ sera égale à $0,012 \text{ kg mol}^{-1}$, avec cependant une incertitude relative égale à celle de la valeur recommandée de $N_A h$ juste avant la redéfinition, puis sa valeur sera déterminée de façon expérimentale.

La Conférence générale des poids et mesures,

encourage

- les chercheurs des laboratoires nationaux de métrologie, le BIPM et les institutions universitaires à poursuivre leurs efforts et à transmettre à la communauté scientifique en général et à la CODATA en particulier les résultats de leurs travaux sur la détermination des constantes de h , e , k , et N_A , et
- le BIPM à poursuivre son travail afin d'assurer la traçabilité au prototype international du kilogramme des prototypes de masse qu'il maintient, ainsi qu'à mettre au point un ensemble d'étalons de référence qui permettra de faciliter la dissémination de l'unité de masse une fois le kilogramme redéfini,

et invite

- la CODATA à continuer à fournir des valeurs pour les constantes fondamentales de la physique ajustées à partir de toutes les données pertinentes disponibles, ainsi qu'à transmettre les résultats au CIPM par l'intermédiaire du Comité consultatif des unités, puisque ce sont les valeurs et incertitudes de la CODATA qui seront utilisées pour la révision du SI,
- le CIPM à lui proposer de réviser le SI dès que les recommandations de la Résolution 12 adoptée par la CGPM à sa 23^e réunion seront satisfaites, en particulier la préparation des mises en pratique des nouvelles définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole,
- le CIPM à poursuivre son travail afin d'obtenir une meilleure formulation des définitions des unités de base du SI fondées sur des constantes fondamentales, l'objectif étant de parvenir, autant que possible, à une description plus facilement compréhensible pour l'ensemble des utilisateurs tout en gardant rigueur et clarté scientifiques,
- le CIPM, les Comités consultatifs, le BIPM, l'OIML et les laboratoires nationaux de métrologie à intensifier leurs efforts afin de mettre en place des campagnes de sensibilisation pour informer les communautés d'utilisateurs et le grand public du projet de redéfinition de certaines unités du SI, et à encourager l'examen des implications juridiques, techniques et pratiques de ces redéfinitions, afin de solliciter les commentaires et les contributions de la vaste communauté des scientifiques et des utilisateurs.