

Annexe 1. Décisions de la CGPM et du CIPM

Cette annexe regroupe les décisions de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) et du Comité international des poids et mesures (CIPM) qui concernent directement les définitions des unités SI, les préfixes à utiliser avec le SI, ainsi que les conventions relatives à l'écriture des symboles d'unités et des nombres. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive des décisions de la CGPM et du CIPM. Pour consulter toutes ces décisions, il faut se référer aux volumes successifs des Comptes rendus de la Conférence générale des poids et mesures (CR) et des Procès-verbaux du Comité international des poids et mesures (PV) et, pour les décisions récentes, à Metrologia.

Le SI n'est pas statique, il suit les progrès de la métrologie, aussi certaines décisions ont-elles été abrogées ou modifiées ; d'autres ont été précisées par des adjonctions. Les décisions qui ont fait l'objet d'un changement sont identifiées par un astérisque (*) et renvoient à une note qui fait référence à la décision qui officialise cette modification.

Le texte original des décisions figure dans une police différente (sans empattement) pour le distinguer du texte principal. Les astérisques et notes ont été ajoutés par le BIPM pour rendre le texte plus compréhensible. Ils ne font pas partie des décisions proprement dites.

Les décisions de la CGPM et du CIPM figurent dans cette annexe par ordre chronologique, de 1889 à 2022, afin de préserver la continuité. Cependant, afin de pouvoir identifier facilement les décisions concernant un domaine particulier, une table des matières par sujet indique les réunions pendant lesquelles ces décisions ont été adoptées et donne les numéros des pages où sont reproduites les publications originelles.

Table des matières de l'annexe 1

Décisions concernant l'établissement du SI		page
9 ^e CGPM, 1948 :	décision d'établir le SI	50
10 ^e CGPM, 1954 :	décision d'adopter les six premières unités de base	52
CIPM 1956 :	décision d'adopter le nom Système international d'unités	53
11 ^e CGPM, 1960 :	confirmation du nom et de l'abréviation SI, noms des préfixes téra à pico, établissement des unités supplémentaires rad et sr, établissement de la liste de certaines unités dérivées	54
CIPM, 1969 :	déclarations concernant les unités de base, supplémentaires, dérivées et cohérentes, et utilisation des préfixes	60
CIPM, 2001 :	« unités SI » et « unités du SI »	72
23 ^e CGPM, 2007 :	éventuelle redéfinition de certaines unités de base du Système international d'unités (SI)	80
24 ^e CGPM, 2011 :	éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82
25 ^e CGPM, 2014 :	révision à venir du Système international d'unités, le SI	89
26 ^e CGPM, 2018 :	révision du Système international d'unités (SI) (mise en œuvre le 20 mai 2019)	92
 Décisions concernant les unités de base du SI		
Longueur		
1 ^{re} CGPM, 1889 :	sanction du Prototype du mètre	47
7 ^e CGPM, 1927 :	définition du mètre par le Prototype international	48
10 ^e CGPM, 1954 :	adoption du mètre comme unité de base	52
11 ^e CGPM, 1960 :	redéfinition du mètre au moyen de la radiation du krypton 86	53
15 ^e CGPM, 1975 :	recommandation de la valeur de la vitesse de la lumière	62
17 ^e CGPM, 1983 :	redéfinition du mètre en fonction de la vitesse de la lumière, mise en pratique de la définition du mètre	66
CIPM, 2002 :	révision de la mise en pratique de la définition du mètre	72
CIPM, 2003 :	révision de la liste des radiations recommandées	75
CIPM, 2005 :	révision de la liste des radiations recommandées	77
CIPM, 2007 :	révision de la liste des radiations recommandées	79
23 ^e CGPM, 2007 :	révision de la mise en pratique de la définition du mètre et mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence	79
CIPM, 2009:	mises à jour de la liste des fréquences étalons	82
24 ^e CGPM, 2011 :	éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82

	page
24 ^e CGPM, 2011 : révision de la mise en pratique de la définition du mètre et mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence	87
CIPM, 2013 : mises à jour de la liste des fréquences étalons	87
26 ^e CGPM, 2018 : révision du Système international d'unités (SI) (mise en œuvre le 20 mai 2019)	92
 Masse	
1 ^{re} CGPM, 1889 : sanction du Prototype du kilogramme	47
3 ^e CGPM, 1901 : déclaration au sujet de la différence entre masse et poids, et valeur conventionnelle de g_n	48
10 ^e CGPM, 1954 : adoption du kilogramme comme unité de base	52
CIPM, 1967 : déclaration sur les préfixes du gramme	57
21 ^e CGPM, 1999 : redéfinition éventuelle du kilogramme	71
23 ^e CGPM, 2007 : éventuelle redéfinition de certaines unités de base du Système international d'unités (SI)	80
24 ^e CGPM, 2011 : éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82
25 ^e CGPM, 2014 : révision à venir du Système international d'unités, le SI	89
26 ^e CGPM, 2018 : révision du Système international d'unités (SI) (mise en œuvre le 20 mai 2019)	92
 Temps	
10 ^e CGPM, 1954 : adoption de la seconde comme unité de base	52
CIPM, 1956 : définition de la seconde comme la fraction de l'année tropique 1900	52
11 ^e CGPM, 1960 : ratification de la définition de la seconde donnée par le CIPM en 1956	54
CIPM, 1964 : déclaration selon laquelle l'étalon à employer est la transition hyperfine du césium 133	56
12 ^e CGPM, 1964 : pouvoir au CIPM de désigner les étalons de fréquence atomique et moléculaire à employer	56
13 ^e CGPM, 1967/68 : définition de la seconde au moyen de la transition du césium	58
CCDS, 1970 : définition du Temps atomique international, TAI	61
14 ^e CGPM, 1971 : demande au CIPM de définir et d'établir le Temps atomique international, TAI	61
15 ^e CGPM, 1975 : sanction du Temps universel coordonné, UTC	62
CIPM, 2006 : représentations secondaires de la seconde	78
23 ^e CGPM, 2007 : révision de la mise en pratique de la définition du mètre et mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence	79
CIPM, 2009 : mises à jour de la liste des fréquences étalons	82
24 ^e CGPM, 2011 : éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82
24 ^e CGPM, 2011 : révision de la mise en pratique de la définition du mètre et mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence	87

	page
CIPM, 2013 :	87
CIPM, 2015 :	90
26 ^e CGPM, 2018 :	92
(mise en œuvre le 20 mai 2019)	

Unités électriques

CIPM, 1946 :	définition des unités électriques cohérentes dans le système d'unités MKS (mètre-kilogramme-seconde) (mise en œuvre le 1 ^{er} janvier 1948)	49
10 ^e CGPM, 1954 :	adoption de l'ampère comme unité de base	52
14 ^e CGPM, 1971 :	adoption du nom siemens, symbole S, pour la conductance électrique	61
18 ^e CGPM, 1987 :	ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm	67
CIPM, 1988 :	définition de la valeur conventionnelle de la constante de Josephson (mise en œuvre le 1 ^{er} janvier 1990)	68
CIPM, 1988 :	définition de la valeur conventionnelle de la constante de von Klitzing (mise en œuvre le 1 ^{er} janvier 1990)	69
23 ^e CGPM, 2007 :	éventuelle redéfinition de certaines unités de base du Système international d'unités (SI)	80
24 ^e CGPM, 2011 :	éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82
25 ^e CGPM, 2014 :	révision à venir du Système international d'unités, le SI	89
26 ^e CGPM, 2018 :	révision du Système international d'unités (SI) (mise en œuvre le 20 mai 2019)	92

Température thermodynamique

9 ^e CGPM, 1948 :	adoption du point triple de l'eau comme point de référence pour la température thermodynamique, adoption du degré Celsius, et définition du zéro comme étant la température de référence inférieure de 0,01 degré à celle du point triple de l'eau	49
CIPM, 1948 :	adoption du nom degré Celsius pour l'échelle de température Celsius	50
10 ^e CGPM, 1954 :	définition de la température thermodynamique du point triple de l'eau à 273,16 degrés Kelvin exactement, définition de l'atmosphère normale	52
10 ^e CGPM, 1954 :	adoption du degré Kelvin comme unité de base	52
13 ^e CGPM, 1967/68 :	définition officielle du kelvin, symbole K	58
CIPM, 1989 :	Échelle internationale de température de 1990, EIT-90	69
CIPM, 2005 :	note ajoutée à la définition du kelvin à propos de la composition isotopique de l'eau	76
23 ^e CGPM, 2007 :	clarification de la définition du kelvin, unité de température thermodynamique	80
23 ^e CGPM, 2007 :	éventuelle redéfinition de certaines unités de base du Système international d'unités (SI)	80

	page
24 ^e CGPM, 2011 : éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82
25 ^e CGPM, 2014 : révision à venir du Système international d'unités, le SI	89
26 ^e CGPM, 2018 : révision du Système international d'unités (SI) (mise en œuvre le 20 mai 2019)	92

Quantité de matière

14 ^e CGPM, 1971 : définition de la mole, symbole mol, comme 7 ^e unité de base, et règles d'utilisation	62
21 ^e CGPM, 1999 : adoption du nom spécial katal, kat	71
23 ^e CGPM, 2007 : éventuelle redéfinition de certaines unités de base du Système international d'unités (SI)	80
24 ^e CGPM, 2011 : éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82
25 ^e CGPM, 2014 : révision à venir du Système international d'unités, le SI	89
26 ^e CGPM, 2018 : révision du Système international d'unités (SI) (mise en œuvre le 20 mai 2019)	92

Intensité lumineuse

CIPM, 1946 : définition des unités photométriques, bougie nouvelle et lumen nouveau (mise en œuvre le 1 ^{er} janvier 1948)	48
10 ^e CGPM, 1954 : adoption de la candela comme unité de base	52
13 ^e CGPM, 1967/68 : définition de la candela, symbole cd, en fonction du corps noir	59
16 ^e CGPM, 1979 : redéfinition de la candela à partir d'un rayonnement monochromatique	63
24 ^e CGPM, 2011 : éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI	82
26 ^e CGPM, 2018 : révision du Système international d'unités (SI) (mise en œuvre le 20 mai 2019)	92

Décisions concernant les unités SI dérivées et les unités supplémentaires

Unités SI dérivées

12 ^e CGPM, 1964 : décision d'accepter de continuer à utiliser le curie comme unité en dehors du SI	57
13 ^e CGPM, 1967/68 : exemples d'unités dérivées	59
15 ^e CGPM, 1975 : adoption des noms spéciaux becquerel, Bq, et gray, Gy	63
16 ^e CGPM, 1979 : adoption du nom spécial sievert, Sv	64
CIPM, 1984 : décision de clarifier les relations entre la dose absorbée (unité SI gray) et l'équivalent de dose (unité SI sievert)	67
CIPM, 2002 : modification des relations entre la dose absorbée et l'équivalent de dose	74

Unités supplémentaires		page
CIPM, 1980 :	décision d'interpréter les unités supplémentaires comme des unités dérivées sans dimension	65
20 ^e CGPM, 1995 :	décision de supprimer la classe des unités supplémentaires, et confirmation de l'interprétation du CIPM selon laquelle ce sont des unités dérivées sans dimension	70
 Décisions concernant la terminologie et approbation des unités en usage avec le SI		
Préfixes SI		
12 ^e CGPM, 1964 :	décision d'ajouter femto et atto à la liste des préfixes	57
15 ^e CGPM, 1975 :	décision d'ajouter péta et exa à la liste des préfixes	63
19 ^e CGPM, 1991 :	décision d'ajouter zetta, zepto, yotta et yocto à la liste des préfixes	70
27 ^e CGPM, 2022 :	décision d'ajouter ronna, ronto, quetta et quecto à la liste des préfixes	94
 Symboles d'unités et nombres		
9 ^e CGPM, 1948 :	décision sur les règles d'écriture des symboles d'unités et des nombres	51
 Noms d'unités		
13 ^e CGPM, 1967/68 :	abrogation de l'utilisation du micron et de la bougie nouvelle comme unités en usage avec le SI	60
 Séparateur décimal		
22 ^e CGPM, 2003 :	décision d'autoriser l'usage du point ou de la virgule sur la ligne comme séparateur décimal	75
 Unités en usage avec le SI : un exemple, le litre		
3 ^e CGPM, 1901 :	définition du litre comme le volume d'1 kg d'eau	47
11 ^e CGPM, 1960 :	demande au CIPM d'étudier la différence entre le décimètre cube et le litre	55
CIPM, 1961 :	recommandation d'exprimer les volumes en unités SI et non en litres	56
12 ^e CGPM, 1964 :	abrogation de la précédente définition du litre et recommandation d'utiliser le litre comme nom spécial donné au décimètre cube	57
16 ^e CGPM, 1979 :	décision, à titre exceptionnel, d'autoriser les deux symboles L et l pour le litre	64

1^{re} CGPM, 1889**■ Sanction des prototypes internationaux du mètre et du kilogramme (CR, 34-38)***

* La définition du mètre a été abrogée en 1960 par la 11^e CGPM (Résolution 6, voir p. 53).

La Conférence générale,
considérant

- le « Compte rendu du Président du Comité international » et le « Rapport du Comité international des poids et mesures », d'où il résulte que, par les soins communs de la Section française de la Commission internationale du Mètre, et du Comité international des poids et mesures, les déterminations métrologiques fondamentales des prototypes internationaux et nationaux du mètre et du kilogramme ont été exécutées dans toutes les conditions de garantie et de précision que comporte l'état actuel de la science ;
- que les prototypes internationaux et nationaux du mètre et du kilogramme sont formés de platine allié à 10 pour 100 d'iridium, à 0,0001 près ;
- l'identité de longueur du Mètre et l'identité de la masse du Kilogramme internationaux avec la longueur du Mètre et la masse du Kilogramme déposés aux Archives de France ;
- que les équations des Mètres nationaux, par rapport au Mètre international, sont renfermées dans la limite de 0,01 millimètre et que ces équations reposent sur une échelle thermométrique à hydrogène qu'il est toujours possible de reproduire, à cause de la permanence de l'état de ce corps, en se plaçant dans des conditions identiques ;
- que les équations des Kilogrammes nationaux, par rapport au Kilogramme international, sont renfermées dans la limite de 1 milligramme ;
- que le Mètre et le Kilogramme internationaux et que les Mètres et les Kilogrammes nationaux remplissent les conditions exigées par la Convention du Mètre,

sanctionne

A. En ce qui concerne les prototypes internationaux :

1. Le Prototype du mètre choisi par le Comité international. Ce prototype représentera désormais, à la température de la glace fondante, l'unité métrique de longueur.
2. Le Prototype du kilogramme adopté par le Comité international. Ce prototype sera considéré désormais comme unité de masse.
3. L'échelle thermométrique centigrade à hydrogène par rapport à laquelle les équations des Mètres prototypes ont été établies.

B. En ce qui concerne les prototypes nationaux :

...

3^e CGPM, 1901**■ Déclaration concernant la définition du litre (CR, 38-39)***

* Définition abrogée en 1964 par la 12^e CGPM (Résolution 6, voir p. 57).

...

La Conférence déclare :

1. L'unité de volume, pour les déterminations de haute précision, est le volume occupé par la masse de 1 kilogramme d'eau pure, à son maximum de densité et sous la pression atmosphérique normale ; ce volume est dénommé « litre ».
2. ...

■ Déclaration relative à l'unité de masse et à la définition du poids ; valeur conventionnelle de g_n (CR, 70)

Vu la décision du Comité international des poids et mesures du 15 octobre 1887, par laquelle le kilogramme a été défini comme unité de masse ;

Vu la décision contenue dans la formule de sanction des prototypes du Système métrique, acceptée à l'unanimité par la Conférence générale des poids et mesures dans sa réunion du 26 septembre 1889 ;

Considérant la nécessité de faire cesser l'ambiguïté qui existe encore dans l'usage courant sur la signification du terme *poids*, employé tantôt dans le sens du terme *masse*, tantôt dans le sens du terme *effort mécanique* ;

La Conférence déclare :

1. Le kilogramme est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme ;*
2. Le terme *poids* désigne une grandeur de la même nature qu'une *force* ; le poids d'un corps est le produit de la masse de ce corps par l'accélération de la pesanteur ; en particulier, le poids normal d'un corps est le produit de la masse de ce corps par l'accélération normale de la pesanteur ;
3. Le nombre adopté dans le Service international des Poids et Mesures pour la valeur de l'accélération normale de la pesanteur est $980,665 \text{ cm/s}^2$, nombre sanctionné déjà par quelques législations.**

*Définition abrogée en 2018 par la CGPM à sa 26^e réunion (Résolution 1, voir p.92).

**Cette valeur de g_n est la valeur conventionnelle de référence pour le calcul de l'unité kilogramme-force maintenant abolie.

7^e CGPM, 1927

■ Définition du mètre par le Prototype international (CR, 49)*

L'unité de longueur est le mètre, défini par la distance, à 0° , des axes des deux traits médians tracés sur la barre de platine iridié déposée au Bureau international des poids et mesures, et déclarée Prototype du mètre par la Première Conférence générale des poids et mesures, cette règle étant soumise à la pression atmosphérique normale et supportée par deux rouleaux d'au moins un centimètre de diamètre, situés symétriquement dans un même plan horizontal et à la distance de 571 mm l'un de l'autre.

* Définition abrogée en 1960 par la CGPM à sa 11^e réunion (Résolution 6, voir p. 53).

CIPM, 1946

■ Définition des unités photométriques (PV, 20, 119-122)*

Résolution

...

4. Les unités photométriques peuvent être définies comme suit :

Bougie nouvelle (unité d'intensité lumineuse). — La grandeur de la bougie nouvelle est telle que la brillance du radiateur intégral à la température de solidification du platine soit de 60 bougies nouvelles par centimètre carré.

Lumen nouveau (unité de flux lumineux). — Le lumen nouveau est le flux lumineux émis dans l'angle solide unité (stéradian) par une source ponctuelle uniforme ayant une intensité lumineuse de 1 bougie nouvelle.

5. ...

* Les deux définitions contenues dans cette Résolution ont été ratifiées par la CGPM à sa 9^e réunion en 1948, qui a en outre approuvé le nom de candela donné à la « bougie nouvelle » (CR, 54). Pour le lumen, le qualificatif « nouveau » a été abandonné par la suite.

La définition de la candela a été modifiée par la 13^e CGPM en 1967 (Résolution 5, voir p. 59).

■ Définitions des unités électriques (PV, 20, 132-133)

Résolution 2

...

4. (A) Définitions des unités mécaniques utilisées dans les définitions des unités électriques :

Unité de force. — L'unité de force [dans le système MKS (mètre, kilogramme, seconde)] est la force qui communique à une masse de 1 kilogramme l'accélération de 1 mètre par seconde, par seconde.

Joule (unité d'énergie ou de travail). — Le joule est le travail effectué lorsque le point d'application de 1 unité MKS de force [newton] se déplace d'une distance égale à 1 mètre dans la direction de la force.

Watt (unité de puissance). — Le watt est la puissance qui donne lieu à une production d'énergie égale à 1 joule par seconde.

(B) Définitions des unités électriques. Le Comité [international] admet les propositions suivantes définissant la grandeur théorique des unités électriques :

Ampère (unité d'intensité de courant électrique). — L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} unité MKS de force [newton] par mètre de longueur.*

Volt (unité de différence de potentiel et de force électromotrice). — Le volt est la différence de potentiel électrique qui existe entre deux points d'un fil conducteur transportant un courant constant de 1 ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces points est égale à 1 watt.

Ohm (unité de résistance électrique). — L'ohm est la résistance électrique qui existe entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de 1 volt, appliquée entre ces deux points, produit, dans ce conducteur, un courant de 1 ampère, ce conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.

Coulomb (unité de quantité d'électricité). — Le coulomb est la quantité d'électricité transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.

Farad (unité de capacité électrique). — Le farad est la capacité d'un condensateur électrique entre les armatures duquel apparaît une différence de potentiel électrique de 1 volt, lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité égale à 1 coulomb.

Henry (unité d'inductance électrique). — Le henry est l'inductance électrique d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de 1 volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de 1 ampère par seconde.

Weber (unité de flux magnétique). — Le weber est le flux magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produirait une force électromotrice de 1 volt, si on l'amenait à zéro en 1 seconde par décroissance uniforme.

Les définitions contenues dans cette Résolution ont été approuvées par la 9^e CGPM en 1948 (CR, 49), qui a en outre adopté le nom newton (Résolution 7) pour l'unité MKS de force.

En 1954, la CGPM à sa 10^e réunion (Résolution 6 ; voir p. 52) établit un système pratique d'unités de mesure pour les relations internationales. L'ampère fut l'une des unités de base de ce système.

* Définition de l'ampère abrogée en 2018 par la CGPM à sa 26^e réunion (Résolution 1, voir p.92).

9^e CGPM, 1948

■ Point triple de l'eau ; échelle thermodynamique à un seul point fixe ; unité de quantité de chaleur (joule) (CR, 55 et 63)

Résolution 3

1. En l'état actuel de la technique, le point triple de l'eau est susceptible de constituer un repère thermométrique avec une précision plus élevée que le point de fusion de la glace.

En conséquence, le Comité consultatif [de thermométrie et calorimétrie] estime que le zéro de l'échelle thermodynamique centésimale doit être défini comme étant la température inférieure de 0,0100 degré à celle du point triple de l'eau pure.

Le kelvin a été redéfini par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

2. Le Comité consultatif [de thermométrie et calorimétrie] admet le principe d'une échelle thermodynamique absolue ne comportant qu'un seul point fixe fondamental, constitué actuellement par le point triple de l'eau pure, dont la température absolue sera fixée ultérieurement.

L'introduction de cette nouvelle échelle n'affecte en rien l'usage de l'Échelle internationale, qui reste l'échelle pratique recommandée.

3. L'unité de quantité de chaleur est le joule.

Note : Il est demandé que les résultats d'expériences calorimétriques soient autant que possible exprimés en joules. Si les expériences ont été faites par comparaison avec un échauffement d'eau (et que, pour une raison quelconque, on ne puisse éviter l'usage de la calorie), tous les renseignements nécessaires pour la conversion en joules doivent être fournis. Il est laissé aux soins du Comité international, après avis du Comité consultatif de thermométrie et calorimétrie, d'établir une table qui présentera les valeurs les plus précises que l'on peut tirer des expériences faites sur la chaleur spécifique de l'eau, en joules par degré.

Une table, établie conformément à cette demande, a été approuvée et publiée par le Comité international en 1950 (PV, 22, 92).

■ Adoption de « degré Celsius » [CIPM, 1948 (PV, 21, 88) et 9^e CGPM, 1948 (CR, 64)]

Entre les trois termes (« degré centigrade », « degré centésimal », « degré Celsius ») proposés pour désigner le degré de température, le Comité international a choisi « degré Celsius » (PV, 21, 88).

Ce terme est également adopté par la 9^e Conférence générale (CR, 64).

■ Proposition d'établissement d'un système pratique d'unités de mesure (CR, 64)

Résolution 6

La Conférence générale,

considérant

- que le Comité international des poids et mesures a été saisi d'une demande de l'Union internationale de physique le sollicitant d'adopter pour les relations internationales un système pratique international d'unités, recommandant le système MKS et une unité électrique du système pratique absolu, tout en ne recommandant pas que le système CGS soit abandonné par les physiciens ;
- qu'elle-même a reçu du Gouvernement français une demande analogue, accompagnée d'un projet destiné à servir de base de discussion pour l'établissement d'une réglementation complète des unités de mesure ;

charge le Comité international :

- d'ouvrir à cet effet une enquête officielle sur l'opinion des milieux scientifiques, techniques et pédagogiques de tous les pays (en offrant effectivement comme base le document français) et de la pousser activement ;
- de centraliser les réponses ;
- et d'émettre des recommandations concernant l'établissement d'un même système pratique d'unités de mesure, susceptible d'être adopté dans tous les pays signataires de la Convention du Mètre.

■ Écriture des symboles d'unités et des nombres (CR, 70)*

Résolution 7

Principes

Les symboles des unités sont exprimés en caractères romains, en général minuscules ; toutefois, si les symboles sont dérivés de noms propres, les caractères romains majuscules sont utilisés. Ces symboles ne sont pas suivis d'un point.

Dans les nombres, la virgule (usage français) ou le point (usage britannique) sont utilisés seulement pour séparer la partie entière des nombres de leur partie décimale. Pour faciliter la lecture, les nombres peuvent être partagés en tranches de trois chiffres : ces tranches ne sont jamais séparées par des points, ni par des virgules.

* La Conférence générale a abrogé un certain nombre de décisions concernant les unités et la terminologie, en particulier celles relatives au micron, au degré absolu et aux noms « degré » et « deg », 13^e CGPM, 1967/68 (Résolutions 7 et 3, voir pp. 60 et 58, respectivement), ainsi qu'au litre, 16^e CGPM, 1979 (Résolution 6, voir p. 64).

Unités	Symboles	Unités	Symboles
• mètre	m	ampère	A
• mètre carré	m ²	volt	V
• mètre cube	m ³	watt	W
• micron	μ	ohm	Ω
• litre	l	coulomb	C
• gramme	g	farad	F
• tonne	t	henry	H
seconde	s	hertz	Hz
erg	erg	poise	P
dyne	dyn	newton	N
degré Celsius	°C	• candela (bougie nouvelle)	cd
• degré absolu	°K	lux	lx
calorie	cal	lumen	lm
bar	bar	stilb	sb
heure	h		

Remarques

1. Les symboles dont les unités sont précédées d'un point sont ceux qui avaient déjà été antérieurement adoptés par une décision du Comité international.
2. L'unité de volume stère, employée dans le mesurage des bois, aura pour symbole « st » et non plus « s », qui lui avait été précédemment affecté par le Comité international.
3. S'il s'agit, non d'une température, mais d'un intervalle ou d'une différence de température, le mot « degré » doit être écrit en toutes lettres ou par l'abréviation « deg ».

10^e CGPM, 1954**■ Définition de l'échelle thermodynamique de température (CR, 79)*****Résolution 3**

La Dixième Conférence générale des poids et mesures décide de définir l'échelle thermodynamique de température au moyen du point triple de l'eau comme point fixe fondamental, en lui attribuant la température 273,16 degrés Kelvin, exactement.

* La 13^e CGPM en 1967/68 (Résolution 4, voir p. 59) a explicitement défini le kelvin.

*Le kelvin a été redéfini par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

■ Définition de l'atmosphère normale (CR, 79)**Résolution 4**

La Dixième Conférence générale des poids et mesures, ayant constaté que la définition de l'atmosphère normale donnée par la Neuvième Conférence générale des poids et mesures dans la définition de l'Échelle internationale de température a laissé penser à quelques physiciens que la validité de cette définition de l'atmosphère normale était limitée aux besoins de la thermométrie de précision,

déclare qu'elle adopte, pour tous les usages, la définition :

1 atmosphère normale = 1 013 250 dynes par centimètre carré,
c'est-à-dire : 101 325 newtons par mètre carré.

■ Système pratique d'unités de mesure (CR, 80)***Résolution 6**

La Dixième Conférence générale des poids et mesures, en exécution du vœu exprimé dans sa Résolution 6 par la Neuvième Conférence générale concernant l'établissement d'un système pratique d'unités de mesure pour les relations internationales,

décide d'adopter comme unités de base de ce système à établir, les unités suivantes :

longueur	mètre
masse	kilogramme
temps	seconde
intensité de courant électrique	ampère
température thermodynamique	degré Kelvin
intensité lumineuse	candela

* Le nom de l'unité de température thermodynamique a été changé en « kelvin » en 1967 par la 13^e CGPM (Résolution 3, voir p.58).

CIPM, 1956**■ Définition de l'unité de temps (seconde) (PV, 25, 77)*****Résolution 1**

En vertu des pouvoirs que lui a conférés la Dixième Conférence générale des poids et mesures par sa Résolution 5, le Comité international des poids et mesures,

considérant

1. que la Neuvième Assemblée générale de l'Union astronomique internationale (Dublin, 1955) a émis un avis favorable au rattachement de la seconde à l'année tropique,
2. que, selon les décisions de la Huitième Assemblée générale de l'Union astronomique internationale (Rome, 1952), la seconde de temps des éphémérides (T.E.) est la fraction

$$\frac{12\,960\,276\,813}{408\,986\,496} \times 10^{-9} \text{ de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 h T.E.,}$$

* Définition abrogée en 1967 par la 13^e CGPM (Résolution 1, voir p. 58).

décide

« La seconde est la fraction $1/31\,556\,925,9747$ de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 heures de temps des éphémérides. »

■ Système international d'unités (PV, 25, 83)**Résolution 3**

Le Comité international des poids et mesures,

considérant

- la mission dont l'a chargé la Neuvième Conférence générale des poids et mesures par sa Résolution 6 concernant l'établissement d'un système pratique d'unités de mesure susceptible d'être adopté par tous les pays signataires de la Convention du Mètre,
- l'ensemble des documents envoyés par les vingt et un pays qui ont répondu à l'enquête prescrite par la Neuvième Conférence générale des poids et mesures,
- la Résolution 6 de la Dixième Conférence générale des poids et mesures fixant le choix des unités de base du système à établir,

recommande

1. que soit désigné comme « Système international d'unités » le système fondé sur les unités de base adoptées par la Dixième Conférence générale, qui sont :
[Suit la liste des six unités de base avec leur symbole, reproduite dans la Résolution 12 de la 11^e CGPM (1960)].
2. que soient employées les unités de ce système énumérées au tableau suivant, sans préjudice d'autres unités qu'on pourrait ajouter à l'avenir :
[Suit le tableau des unités reproduit dans le paragraphe 4 de la Résolution 12 de la 11^e CGPM (1960)].

11^e CGPM, 1960**■ Définition du mètre (CR, 85)*****Résolution 6**

La Onzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que le Prototype international ne définit pas le mètre avec une précision suffisante pour les besoins actuels de la métrologie,
- qu'il est d'autre part désirable d'adopter un étalon naturel et indestructible,

décide

1. Le mètre est la longueur égale à $1\,650\,763,73$ longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de krypton 86.
2. La définition du mètre en vigueur depuis 1889, fondée sur le Prototype international en platine iridié, est abrogée.
3. Le Prototype international du mètre sanctionné par la Première Conférence générale des poids et mesures en 1889 sera conservé au Bureau international des poids et mesures dans les mêmes conditions que celles qui ont été fixées en 1889.

* Définition abrogée en 1983 par la 17^e CGPM (Résolution 1, voir p. 66).

■ Définition de l'unité de temps (seconde) (CR, 86)*

* Définition abrogée en 1967 par la 13^e CGPM (Résolution 1, voir p. 58).

Résolution 9

La Onzième Conférence générale des poids et mesures, considérant

- le pouvoir donné par la Dixième Conférence générale des poids et mesures au Comité international des poids et mesures de prendre une décision au sujet de la définition de l'unité fondamentale de temps,
- la décision prise par le Comité international des poids et mesures dans sa session de 1956,

ratifie la définition suivante :

« La seconde est la fraction 1/31 556 925,9747 de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 heures de temps des éphémérides. »

■ Système international d'unités (CR, 87)*

* La CGPM a ultérieurement abrogé certaines de ces décisions et complété la liste des préfixes SI : voir notes ci-dessous.

Résolution 12

La Onzième Conférence générale des poids et mesures, considérant

- la Résolution 6 de la Dixième Conférence générale des poids et mesures par laquelle elle a adopté les six unités devant servir de base à l'établissement d'un système pratique de mesure pour les relations internationales :

longueur	mètre	m
masse	kilogramme	kg
temps	seconde	s
intensité de courant électrique	ampère	A
température thermodynamique	degré Kelvin	°K
intensité lumineuse	candela	cd

Le nom et symbole de l'unité de température thermodynamique ont été modifiés par la 13^e CGPM en 1967 (Résolution 3, voir p. 58).

- la Résolution 3 adoptée par le Comité international des poids et mesures en 1956,
- les recommandations adoptées par le Comité international des poids et mesures en 1958 concernant l'abréviation du nom de ce système et les préfixes pour la formation des multiples et sous-multiples des unités,

décide

1. le système fondé sur les six unités de base ci-dessus est désigné sous le nom de « Système international d'unités » ;
2. l'abréviation internationale du nom de ce Système est : SI ;
3. les noms des multiples et sous-multiples des unités sont formés au moyen des préfixes suivants :

Une septième unité de base, la mole, a été adoptée par la 14^e CGPM en 1971 (Résolution 3, voir p. 62).

Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole	Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	téra	T	0,1 = 10 ⁻¹	déci	d
1 000 000 000 = 10 ⁹	giga	G	0,01 = 10 ⁻²	centi	c
1 000 000 = 10 ⁶	méga	M	0,001 = 10 ⁻³	milli	m
1 000 = 10 ³	kilo	k	0,000 001 = 10 ⁻⁶	micro	μ
100 = 10 ²	hecto	h	0,000 000 001 = 10 ⁻⁹	nano	n
10 = 10 ¹	déca	da	0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	pico	p

D'autres préfixes ont été adoptés par la 12^e CGPM en 1964 (Résolution 8, voir p. 57), par la 15^e CGPM en 1975 (Résolution 10, voir p. 63) et par la 19^e CGPM en 1991 (Résolution 4, voir p. 70).

4. sont employées dans ce Système les unités ci-dessous, sans préjudice d'autres unités qu'on pourrait ajouter à l'avenir

Unités supplémentaires

angle	radian	rad
angle solide	stéradian	sr

La 20^e CGPM a abrogé en 1995 la classe des unités supplémentaires dans le SI (Résolution 8, voir p. 70). Ces unités sont maintenant considérées comme des unités dérivées.

Unités dérivées

superficie	mètre carré	m ²	
volume	mètre cube	m ³	
fréquence	hertz	Hz	1/s
masse volumique (densité)	kilogramme par mètre cube	kg/m ³	
vitesse	mètre par seconde	m/s	
vitesse angulaire	radian par seconde	rad/s	
accélération	mètre par seconde carrée	m/s ²	
accélération angulaire	radian par seconde carrée	rad/s ²	
force	newton	N	kg · m/s ²
pression (tension mécanique)	newton par mètre carré	N/m ²	
viscosité cinématique	mètre carré par seconde	m ² /s	
viscosité dynamique	newton-seconde par mètre carré	N · s/m ²	
travail, énergie, quantité de chaleur	joule	J	N · m
puissance	watt	W	J/s
quantité d'électricité	coulomb	C	A · s
tension électrique, différence de potentiel, force électromotrice	volt	V	W/A
intensité de champ électrique	volt par mètre	V/m	
résistance électrique	ohm	Ω	V/A
capacité électrique	farad	F	A · s/V
flux d'induction magnétique	weber	Wb	V · s
inductance	henry	H	V · s/A
induction magnétique	tesla	T	Wb/m ²
intensité de champ magnétique	ampère par mètre	A/m	
force magnétomotrice	ampère	A	
flux lumineux	lumen	lm	cd · sr
luminance	candela par mètre carré	cd/m ²	
éclairage	lux	lx	lm/m ²

La 13^e CGPM en 1967 (Résolution 6, voir p. 59) a ajouté d'autres unités à cette liste d'unités dérivées, qui, en principe, n'est pas limitative.

■ **Décimètre cube et litre (CR, 88)****Résolution 13**

La Onzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que le décimètre cube et le litre sont inégaux et diffèrent d'environ 28 millièmes,
- que les déterminations de grandeurs physiques impliquant des mesures de volume ont une précision de plus en plus élevée, aggravant par là les conséquences d'une confusion possible entre le décimètre cube et le litre,

invite le Comité international des poids et mesures à mettre ce problème à l'étude et à présenter ses conclusions à la Douzième Conférence générale.

CIPM, 1961**■ Décimètre cube et litre (PV, 29, 34)****Recommandation**

Le Comité international des poids et mesures recommande que les résultats des mesures précises de volume soient exprimés en unités du Système international et non en litres.

CIPM, 1964**■ Étalons de fréquence (PV, 32, 26 et CR, 93)****Déclaration**

Le Comité international des poids et mesures,

habilite par la Résolution 5 de la Douzième Conférence générale des poids et mesures à désigner les étalons atomiques ou moléculaires de fréquence à employer temporairement pour les mesures physiques de temps,

déclare que l'étalon à employer est la transition entre les niveaux hyperfins $F = 4$, $M = 0$ et $F = 3$, $M = 0$ de l'état fondamental $^2S_{1/2}$ de l'atome de césium 133 non perturbé par des champs extérieurs, et que la valeur 9 192 631 770 hertz est assignée à la fréquence de cette transition.

12^e CGPM, 1964**■ Étalon atomique de fréquence (CR, 93)****Résolution 5**

La Douzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que la Onzième Conférence générale des poids et mesures a constaté dans sa Résolution 10 l'urgence pour les buts de la haute métrologie d'arriver à un étalon atomique ou moléculaire d'intervalle de temps,
- que, malgré les résultats acquis dans l'utilisation des étalons atomiques de fréquence à césium, le moment n'est pas encore venu pour la Conférence générale d'adopter une nouvelle définition de la seconde, unité de base du Système international d'unités, en raison des progrès nouveaux et importants qui peuvent être obtenus à la suite des études en cours,

considérant aussi qu'on ne peut pas attendre davantage pour fonder les mesures physiques de temps sur des étalons atomiques ou moléculaires de fréquence,

habilite le Comité international des poids et mesures à désigner les étalons atomiques ou moléculaires de fréquence à employer temporairement,

invite les Organisations et les Laboratoires experts dans ce domaine à poursuivre les études utiles à une nouvelle définition de la seconde.

■ **Litre (CR, 93)****Résolution 6**

La Douzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant la Résolution 13 adoptée par la Onzième Conférence générale en 1960 et la Recommandation adoptée par le Comité international des poids et mesures à sa session de 1961,

1. **abroge** la définition du litre donnée en 1901 par la Troisième Conférence générale des poids et mesures,
2. **déclare** que le mot « litre » peut être utilisé comme un nom spécial donné au décimètre cube,
3. **recommande** que le nom de litre ne soit pas utilisé pour exprimer les résultats des mesures de volume de haute précision.

■ **Curie (CR, 94)*****Résolution 7**

La Douzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant que depuis longtemps le curie est utilisé dans beaucoup de pays comme unité pour l'activité des radionucléides,

reconnaissant que dans le Système international d'unités (SI), l'unité de cette activité est la seconde à la puissance moins un (s^{-1}),

admet que le curie soit encore retenu comme unité en dehors du SI pour l'activité, avec la valeur $3,7 \times 10^{10} s^{-1}$. Le symbole de cette unité est Ci.

* Le nom « becquerel » (Bq) a été adopté par la 15^e CGPM en 1975 (Résolution 8, voir p. 63) pour l'unité SI d'activité : $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

■ **Préfixes SI femto et atto (CR, 94)*****Résolution 8**

La Douzième Conférence générale des poids et mesures,

décide d'ajouter à la liste des préfixes pour la formation des noms des multiples et des sous-multiples des unités, adoptée par la Onzième Conférence générale, Résolution 12, paragraphe 3, les deux nouveaux préfixes suivants :

Facteur par lequel
l'unité est multipliée

Préfixe

Symbole

10^{-15}

femto

f

10^{-18}

atto

a

* De nouveaux préfixes ont été ajoutés par la 15^e CGPM en 1975 (Résolution 10, voir p. 63).

CIPM, 1967■ **Multiples et sous-multiples décimaux de l'unité de masse (PV, 35, 29 et Metrologia, 1968, 4, 45)****Recommandation 2**

Le Comité international des poids et mesures,

considérant que la règle de formation des noms des multiples et sous-multiples décimaux des unités du paragraphe 3 de la Résolution 12 de la Onzième Conférence générale des poids et mesures (1960) peut prêter à des interprétations divergentes dans son application à l'unité de masse,

déclare que les dispositions de la Résolution 12 de la Onzième Conférence générale s'appliquent dans le cas du kilogramme de la façon suivante : les noms des multiples et sous-multiples décimaux de l'unité de masse sont formés par l'adjonction des préfixes au mot « gramme ».

13^e CGPM, 1967/68

■ Unité SI de temps (seconde) (CR, 103 et *Metrologia*, 1968, 4, 43)

Résolution 1

La Treizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que la définition de la seconde décidée par le Comité international des poids et mesures à sa session de 1956 (Résolution 1) et ratifiée par la Résolution 9 de la Onzième Conférence générale (1960), puis maintenue par la Résolution 5 de la Douzième Conférence générale (1964) ne suffit pas aux besoins actuels de la métrologie,
- qu'à sa session de 1964 le Comité international des poids et mesures, habilité par la Résolution 5 de la Douzième Conférence (1964), a désigné pour répondre à ces besoins un étalon atomique de fréquence à césium à employer temporairement,
- que cet étalon de fréquence est maintenant suffisamment éprouvé et suffisamment précis pour servir à une définition de la seconde répondant aux besoins actuels,
- que le moment est venu de remplacer la définition actuellement en vigueur de l'unité de temps du Système international d'unités par une définition atomique fondée sur cet étalon,

décide

1. L'unité de temps du Système international d'unités est la seconde définie dans les termes suivants :
« 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 ».
2. La Résolution 1 adoptée par le Comité international des poids et mesures à sa session de 1956 et la Résolution 9 de la Onzième Conférence générale des poids et mesures sont abrogées.

Lors de sa session de 1997, le Comité international a confirmé que cette définition se réfère à un atome de césium au repos, à une température de 0 K.

La formulation de la définition de la seconde a été modifiée par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

■ Unité SI de température thermodynamique (kelvin) (CR, 104 et *Metrologia*, 1968, 4, 43)*

Résolution 3

La Treizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- les noms « degré Kelvin » et « degré », les symboles « °K » et « deg » et leurs règles d'emploi contenus dans la Résolution 7 de la Neuvième Conférence générale (1948), dans la Résolution 12 de la Onzième Conférence générale (1960) et la décision prise par le Comité international des poids et mesures en 1962 (PV, 30, 27),
- que l'unité de température thermodynamique et l'unité d'intervalle de température sont une même unité qui devrait être désignée par un nom unique et par un symbole unique,

* À sa session de 1980, le Comité international a approuvé le rapport de la 7^e session du CCU demandant que l'emploi des symboles « °K » et « deg » ne soit plus admis.

décide

1. l'unité de température thermodynamique est désignée sous le nom « kelvin » et son symbole est « K » ;**
2. ce même nom et ce même symbole sont utilisés pour exprimer un intervalle de température ;
3. un intervalle de température peut aussi s'exprimer en degrés Celsius ;
4. les décisions mentionnées au premier considérant concernant le nom de l'unité de température thermodynamique, son symbole et la désignation de l'unité pour exprimer un intervalle ou une différence de température sont abrogées, mais les usages qui sont la conséquence de ces décisions restent admis temporairement.

** Voir la Recommandation 2 (CI-2005) du CIPM relative à la composition isotopique de l'eau entrant dans la définition du kelvin (p. 76).

■ **Définition de l'unité SI de température thermodynamique (kelvin)** (CR, 104 et *Metrologia*, 1968, 4, 43)*

Résolution 4

La Treizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant qu'il est utile de formuler dans une rédaction explicite la définition de l'unité de température thermodynamique contenue dans la Résolution 3 de la Dixième Conférence générale (1954),

décide d'exprimer cette définition de la façon suivante :

« Le kelvin, unité de température thermodynamique, est la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau. »

* Voir la Recommandation 5 (CI-1989) du CIPM relative à l'Échelle internationale de température de 1990 (p. 69).

*Le kelvin a été redéfini par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

■ **Unité SI d'intensité lumineuse (candela)** (CR, 104 et *Metrologia*, 1968, 4, 43-44)*

Résolution 5

La Treizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- la définition de l'unité d'intensité lumineuse ratifiée par la Neuvième Conférence générale (1948) et contenue dans la « Résolution concernant le changement des unités photométriques » adoptée par le Comité international des poids et mesures en 1946 (PV, 20, 119) en vertu des pouvoirs conférés par la Huitième Conférence générale (1933),
- que cette définition fixe bien la grandeur de l'unité d'intensité lumineuse mais prête à des critiques d'ordre rédactionnel,

décide d'exprimer la définition de la candela de la façon suivante :

« La candela est l'intensité lumineuse, dans la direction perpendiculaire, d'une surface de $1/600\,000$ mètre carré d'un corps noir à la température de congélation du platine sous la pression de $101\,325$ newtons par mètre carré. »

* Définition abrogée en 1979 par la 16^e CGPM (Résolution 3, voir p. 63).

■ **Unités SI dérivées** (CR, 105 et *Metrologia*, 1968, 4, 44)*

Résolution 6

La Treizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant qu'il est utile de citer d'autres unités dérivées dans la liste du paragraphe 4 de la Résolution 12 de la Onzième Conférence générale (1960),

* L'unité d'activité a reçu un nom spécial et un symbole particulier lors de la 15^e CGPM en 1975 (Résolution 8, voir p. 63).

décide d'y ajouter:

nombre d'ondes	1 par mètre	m^{-1}
entropie	joule par kelvin	J/K
chaleur massique	joule par kilogramme kelvin	J/(kg · K)
conductivité thermique	watt par mètre kelvin	W/(m · K)
intensité énergétique	watt par stéradian	W/sr
activité (d'une source radioactive)	1 par seconde	s^{-1}

■ **Abrogation de décisions antérieures (micron et bougie nouvelle)** (CR, 105 et *Metrologia*, 1968, 4, 44)

Résolution 7

La Treizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant que les décisions prises ultérieurement par la Conférence générale concernant le Système international d'unités contredisent quelques parties de la Résolution 7 de la Neuvième Conférence générale (1948),

décide en conséquence de retirer de la Résolution 7 de la Neuvième Conférence :

1. le nom d'unité « micron », et le symbole « μ » qui fut attribué à cette unité et qui est devenu un préfixe ;
2. le nom d'unité « bougie nouvelle ».

CIPM, 1969

■ **Système international d'unités, modalités d'application de la Résolution 12 de la 11^e CGPM (1960)** (PV, 37, 30 et *Metrologia*, 1970, 6, 66)*

* La 20^e CGPM a décidé d'abroger en 1995 (Résolution 8, voir p. 70) la classe des unités supplémentaires dans le SI.

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures,

considérant que la Résolution 12 de la Onzième Conférence générale des poids et mesures (1960), concernant le Système international d'unités, a suscité des discussions sur certaines dénominations,

déclare

1. les unités de base, les unités supplémentaires et les unités dérivées du Système international d'unités, qui forment un ensemble cohérent, sont désignées sous le nom d'« unités SI » ;**
2. les préfixes adoptés par la Conférence générale pour la formation des multiples et sous-multiples décimaux des unités SI sont appelés « préfixes SI » ;

et recommande

3. d'employer les unités SI et leurs multiples et sous-multiples décimaux dont les noms sont formés au moyen des préfixes SI.

Note : L'appellation « unités supplémentaires », figurant dans la Résolution 12 de la Onzième Conférence générale des poids et mesures (et dans la présente Recommandation), est donnée aux unités SI pour lesquelles la Conférence générale ne décide pas s'il s'agit d'unités de base ou bien d'unités dérivées.

** Le CIPM a approuvé en 2001 une proposition du CCU visant à clarifier la définition des « unités SI » et « unités du SI », voir p. 72.

CCDS, 1970 (*In CIPM, 1970*)

■ Définition du TAI (PV, 38, 110-111 et *Metrologia*, 1971, 7, 43)

Recommandation S 2

Le Temps atomique international est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau international de l'heure sur la base des indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements conformément à la définition de la seconde, unité de temps du Système international d'unités.

En 1980, la définition du TAI a été complétée comme suit (déclaration du CCDS, *BIPM Com. cons. déf. seconde*, 1980, 9, S 15 et *Metrologia*, 1981, 17, 70) :

Le TAI est une échelle de temps-coordonnée définie dans un repère de référence géocentrique avec comme unité d'échelle la seconde du SI telle qu'elle est réalisée sur le géoïde en rotation.

L'Union astronomique internationale a précisé cette définition dans sa Résolution A4 de 1991 : « Le TAI est une échelle de temps réalisée dont la forme idéale, si l'on néglige un décalage constant de 32,184 s, est le Temps terrestre (TT), lui-même relié à la coordonnée temps du référentiel géocentrique, le Temps-coordonnée géocentrique (TCG), par une marche constante. » (voir Proc. 21st General Assembly of the IAU, *IAU Trans.*, 1991, vol. XXIB, Kluwer.)

14^e CGPM, 1971

■ Pascal et siemens (CR, 78)

La 14^e Conférence générale a adopté les noms spéciaux « pascal » (symbole Pa) pour l'unité SI newton par mètre carré et « siemens » (symbole S) pour l'unité SI de conductance électrique (ohm à la puissance moins un).

■ Temps atomique international ; rôle du CIPM (CR, 77-78 et *Metrologia*, 1972, 8, 35)

Résolution 1

La Quatorzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que la seconde, unité de temps du Système international d'unités, est définie depuis 1967 d'après une fréquence atomique naturelle, et non plus d'après des échelles de temps fournies par des mouvements astronomiques,
- que le besoin d'une échelle de Temps atomique international (TAI) est une conséquence de la définition atomique de la seconde,
- que plusieurs organisations internationales ont assuré et assurent encore avec succès l'établissement des échelles de temps fondées sur des mouvements astronomiques, particulièrement grâce aux services permanents du Bureau international de l'heure (BIH),
- que le Bureau international de l'heure a commencé à établir une échelle de temps atomique dont les qualités sont reconnues et qui a prouvé son utilité,
- que les étalons atomiques de fréquence servant à la réalisation de la seconde ont été considérés et doivent continuer de l'être par le Comité international des poids et mesures assisté d'un Comité consultatif, et que l'intervalle unitaire de l'échelle de Temps atomique international doit être la seconde réalisée conformément à sa définition atomique,
- que toutes les organisations scientifiques internationales compétentes et les laboratoires nationaux actifs dans ce domaine ont exprimé le désir que le Comité international et la Conférence générale des poids et mesures donnent une définition du Temps atomique international, et contribuent à l'établissement de l'échelle de Temps atomique international,
- que l'utilité du Temps atomique international nécessite une coordination étroite avec les échelles de temps fondées sur des mouvements astronomiques,

demande au Comité international des poids et mesures

1. de donner une définition du Temps atomique international ;
2. de prendre les mesures nécessaires, en accord avec les organisations internationales intéressées, pour que les compétences scientifiques et les moyens d'action existants soient utilisés au mieux pour la réalisation de l'échelle de Temps atomique international, et pour que soient satisfaits les besoins des utilisateurs du Temps atomique international.

La définition du TAI a été donnée par le CCDS en 1970 (maintenant renommé CCTF), voir p. 61.

■ Unité SI de quantité de matière (mole) (CR, 78 et *Metrologia*, 1972, 8, 36)*

Résolution 3

La Quatorzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant les avis de l'Union internationale de physique pure et appliquée, de l'Union internationale de chimie pure et appliquée et de l'Organisation internationale de normalisation concernant le besoin de définir une unité de quantité de matière,

décide

1. La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12 ; son symbole est « mol ».**
2. Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.
3. La mole est une unité de base du Système international d'unités.

* À sa session de 1980, le CIPM a approuvé le rapport de la 7^e session du CCU (1980) précisant que, dans cette définition, il est entendu que l'on se réfère à des atomes de carbone 12 non liés, au repos et dans leur état fondamental.

**La mole a été redéfinie par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

15^e CGPM, 1975

■ Valeur recommandée pour la vitesse de la lumière (CR, 103 et *Metrologia*, 1975, 11, 179-180)

Résolution 2

La Quinzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant l'excellent accord entre les résultats des mesures de longueur d'onde portant sur des radiations de lasers asservis sur une raie d'absorption moléculaire dans la région visible ou infrarouge, avec une incertitude estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$ qui correspond à l'indétermination de la réalisation du mètre,

considérant aussi les mesures concordantes de la fréquence de plusieurs de ces radiations,

recommande l'emploi de la valeur qui en résulte pour la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458$ mètres par seconde.

L'incertitude relative doit être comprise comme étant trois fois l'incertitude-type estimée sur les résultats considérés.

■ Temps universel coordonné (UTC) (CR, 104 et *Metrologia*, 1975, 11, 180)

Résolution 5

La Quinzième Conférence générale des poids et mesures,

considérant que le système appelé « Temps universel coordonné » (UTC) est employé très largement, qu'il est diffusé par la plupart des émetteurs hertziens de signaux horaires, que sa diffusion fournit aux utilisateurs à la fois des fréquences étalons, le Temps atomique international et une approximation du Temps universel (ou, si l'on préfère, du temps solaire moyen),

constate que ce Temps universel coordonné est à la base du temps civil dont l'usage est légal dans la plupart des pays,

estime que cet emploi est parfaitement recommandable.

■ **Unités SI pour les rayonnements ionisants (becquerel et gray)** (CR, 105 et *Metrologia*, 1975, **11**, 180)*

Résolutions 8 et 9

La Quinzième Conférence générale des poids et mesures,
en raison de l'urgence, exprimée par la Commission internationale des unités et mesures de rayonnements (ICRU), d'étendre l'usage du Système international d'unités aux recherches et aux applications de la radiologie,
en raison de la nécessité de rendre aussi simple que possible l'usage des unités aux non-spécialistes,

tenant compte aussi de la gravité des risques d'erreurs dans la thérapeutique,

adopte le nom spécial suivant d'unité SI pour l'activité :

le **becquerel**, symbole Bq, égal à la seconde à la puissance moins un (Résolution 8),

adopte le nom spécial suivant d'unité SI pour les rayonnements ionisants :

le **gray**, symbole Gy, égal au joule par kilogramme (Résolution 9).

Note : Le gray est l'unité SI de dose absorbée. Dans le domaine des rayonnements ionisants, le gray peut encore être employé avec d'autres grandeurs physiques qui s'expriment aussi en joules par kilogramme ; le Comité consultatif des unités est chargé d'étudier cette question en collaboration avec les organisations internationales compétentes.

* À sa session de 1976, le Comité international a approuvé le rapport de la 5^e session du CCU (1976) précisant que, suivant l'avis de l'ICRU, le gray peut être employé aussi pour exprimer l'énergie communiquée massique, le kerma et l'indice de dose absorbée.

■ **Préfixes SI péta et exa** (CR, 106 et *Metrologia*, 1975, **11**, 180-181)*

Résolution 10

La Quinzième Conférence générale des poids et mesures,

décide d'ajouter à la liste des préfixes SI pour la formation des noms des multiples des unités, adoptée par la Onzième Conférence générale, Résolution 12, paragraphe 3, les deux préfixes suivants :

Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

* De nouveaux préfixes ont été ajoutés en 1991 par la 19^e CGPM (Résolution 4, voir p. 70).

En français, il est d'usage courant de mettre un accent à péta.

16^e CGPM, 1979

■ **Unité SI d'intensité lumineuse (candela)** (CR, 100 et *Metrologia*, 1980, **16**, 56)

Résolution 3

La Seizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que, malgré les efforts méritoires de quelques laboratoires, il subsiste des divergences excessives entre les résultats de la réalisation de la candela à l'aide du corps noir étalon primaire actuel,
- que les techniques radiométriques se développent rapidement, autorisant des précisions qui sont déjà analogues à celles de la photométrie et que ces techniques sont déjà en usage dans des laboratoires nationaux pour réaliser la candela sans avoir à construire un corps noir,

La formulation de la définition de la candela a été modifiée par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

- que la relation entre les grandeurs lumineuses de la photométrie et les grandeurs énergétiques, à savoir la valeur 683 lumens par watt pour l'efficacité lumineuse spectrale de la radiation monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz, a été adoptée par le Comité international des poids et mesures en 1977,
- que cette valeur a été reconnue suffisamment exacte pour le système des grandeurs lumineuses photopiques, qu'elle n'entraîne qu'un changement d'environ 3 % pour le système des grandeurs lumineuses scotopiques et que par conséquent elle assure une continuité satisfaisante,
- que le moment est venu de donner à la candela une définition susceptible d'améliorer la facilité d'établissement des étalons photométriques et leur précision, et qui s'applique aux grandeurs photopiques et scotopiques de la photométrie et aux grandeurs à définir dans le domaine mésopique,

décide

1. La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian.
2. La définition de la candela (à l'époque appelée bougie nouvelle) décidée par le Comité international des poids et mesures en 1946 en vertu des pouvoirs conférés par la 8^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM) en 1933, ratifiée par la 9^e CGPM en 1948, puis amendée par la 13^e CGPM en 1967, est abrogée.

■ **Nom spécial pour l'unité SI d'équivalent de dose (sievert)** (CR, 100 et *Metrologia*, 1980, **16**, 56)*

Résolution 5

La Seizième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- l'effort fait pour introduire les unités SI dans le domaine des rayonnements ionisants,
- les risques que peuvent encourir des êtres humains soumis à des irradiations sous-estimées, risques qui pourraient résulter de la confusion entre dose absorbée et équivalent de dose,
- que la prolifération des noms spéciaux représente un danger pour le Système international d'unités et doit être évitée dans toute la mesure du possible, mais que cette règle peut être transgressée lorsqu'il s'agit de sauvegarder la santé humaine,

adopte le nom spécial **sievert**, symbole Sv, pour l'unité SI d'équivalent de dose dans le domaine de la radioprotection. Le sievert est égal au joule par kilogramme.

■ **Symboles du litre** (CR, 101 et *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57)

Résolution 6

La Seizième Conférence générale des poids et mesures,

reconnaissant les principes généraux adoptés pour l'écriture des symboles des unités dans la Résolution 7 de la 9^e Conférence générale des poids et mesures (1948),

considérant que le symbole l pour l'unité litre a été adopté par le Comité international des poids et mesures en 1879 et confirmé dans cette même Résolution de 1948,

La vision photopique est détectée sur la rétine de l'œil par les cônes, sensibles aux luminances élevées ($L > \text{environ } 10 \text{ cd m}^{-2}$), qui correspondent à la vision diurne.

La vision scotopique est détectée sur la rétine de l'œil par les bâtonnets, sensibles aux faibles luminances ($L < \text{environ } 10^{-3} \text{ cd m}^{-2}$), qui correspondent à la vision nocturne.

Dans le cas de luminances intermédiaires entre la vision photopique et la vision scotopique, les cônes et les bâtonnets fonctionnent simultanément, on est alors dans le domaine de la vision mésopique.

* Le Comité international a décidé en 1984 d'accompagner cette Résolution d'une explication, (Recommandation 1, voir p. 67).

considérant aussi que, afin d'éviter un risque de confusion entre la lettre l et le chiffre 1, plusieurs pays ont adopté le symbole L au lieu de l pour l'unité litre,

considérant que le nom litre, bien qu'il ne soit pas inclus dans le Système international d'unités, doit être admis pour l'usage général avec ce Système,

décide, à titre exceptionnel, d'adopter les deux symboles l et L comme symboles utilisables pour l'unité litre,

considérant en outre que dans l'avenir un seul des deux symboles devrait être retenu,

invite le Comité international des poids et mesures à suivre le développement de l'usage des deux symboles et à donner à la 18^e Conférence générale des poids et mesures son avis sur la possibilité de supprimer l'un d'eux.

Le Comité international a estimé encore prématuré, en 1990, de choisir un symbole unique du litre.

CIPM, 1980

■ **Unités SI supplémentaires (radian et stéradian)** (PV, 48, 24 et *Metrologia*, 1981, 17, 72)*

* La classe des unités supplémentaires dans le SI a été abrogée en 1995 par décision de la 20^e CGPM (Résolution 8, voir p. 70).

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

prenant en considération la Résolution 3 adoptée par l'ISO/TC 12 en 1978 et la Recommandation U 1 (1980) adoptée par le Comité consultatif des unités (CCU) à sa 7^e session,

considérant

- que les unités radian et stéradian sont introduites usuellement dans des expressions des unités pour des besoins de clarification, notamment en photométrie où le stéradian joue un rôle important pour distinguer les unités correspondant aux diverses grandeurs,
- que dans les équations utilisées on exprime généralement l'angle plan comme le rapport entre deux longueurs et l'angle solide comme le rapport entre une aire et le carré d'une longueur, et que par conséquent ces grandeurs sont traitées comme des grandeurs sans dimension,
- que l'étude des formalismes en usage dans le domaine scientifique montre qu'il n'en existe aucun qui soit à la fois cohérent et convenable, et dans lequel les grandeurs angle plan et angle solide soient considérées comme des grandeurs de base,

considérant aussi

- que l'interprétation donnée par le CIPM en 1969 pour la classe des unités supplémentaires introduite dans la Résolution 12 de la 11^e Conférence générale des poids et mesures en 1960 laisse la liberté de traiter le radian et le stéradian comme unités de base dans le Système international,
- qu'une telle possibilité compromet la cohérence interne du Système international fondé sur sept unités de base seulement,

décide d'interpréter la classe des unités supplémentaires dans le Système international comme une classe d'unités dérivées sans dimension pour lesquelles la Conférence générale des poids et mesures laisse la liberté de les utiliser ou non dans les expressions des unités dérivées du Système international.

17^e CGPM, 1983■ Définition du mètre (CR, 97 et *Metrologia*, 1984, 20, 25)

Résolution 1

La Dix-septième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que la définition actuelle ne permet pas une réalisation du mètre suffisamment précise pour tous les besoins,
- que les progrès réalisés dans l'asservissement des lasers permettent d'obtenir des radiations plus reproductibles et plus faciles à utiliser que la radiation étalon émise par une lampe à krypton 86,
- que les progrès réalisés dans la mesure des fréquences et des longueurs d'onde de ces radiations ont abouti à des déterminations concordantes de la vitesse de la lumière dont l'exactitude est limitée principalement par la réalisation du mètre dans sa définition actuelle,
- que les valeurs des longueurs d'onde déterminées à partir de mesures de fréquence et d'une valeur donnée de la vitesse de la lumière ont une précision supérieure à celle qui peut être obtenue par comparaison avec la longueur d'onde de la radiation étalon du krypton 86,
- qu'il y a avantage, notamment pour l'astronomie et la géodésie, à maintenir inchangée la valeur de la vitesse de la lumière recommandée en 1975 par la 15^e Conférence générale des poids et mesures, dans sa Résolution 2 ($c = 299\,792\,458$ m/s),
- qu'une nouvelle définition du mètre a été envisagée sous diverses formes qui ont toutes pour effet de donner à la vitesse de la lumière une valeur exacte, égale à la valeur recommandée, et que cela n'introduit aucune discontinuité appréciable de l'unité de longueur, compte tenu de l'incertitude relative de $\pm 4 \times 10^{-9}$ des meilleures réalisations du mètre dans sa définition actuelle.
- que ces diverses formes, faisant appel soit au trajet parcouru par la lumière dans un intervalle de temps spécifié, soit à la longueur d'onde d'une radiation de fréquence mesurée ou de fréquence spécifiée, ont fait l'objet de consultations et de discussions approfondies, qu'elles ont été reconnues équivalentes et qu'un consensus s'est dégagé en faveur de la première forme,
- que le Comité consultatif pour la définition du mètre est dès maintenant en mesure de donner des instructions pour la mise en pratique d'une telle définition, instructions qui pourront inclure l'emploi de la radiation orangée du krypton 86 utilisée jusqu'ici comme étalon et qui pourront être complétées ou révisées par la suite,

décide

1. Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\,792\,458$ de seconde.
2. La définition du mètre en vigueur depuis 1960, fondée sur la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de krypton 86, est abrogée.

■ Sur la mise en pratique de la définition du mètre (CR, 98 et *Metrologia*, 1984, 20, 25-26)

Résolution 2

La Dix-septième Conférence générale des poids et mesures

invite le Comité international des poids et mesures

- à établir des instructions pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre,
- à choisir des radiations qui puissent être recommandées comme étalons de longueur d'onde pour la mesure interférentielle des longueurs et à établir des instructions pour leur emploi,
- à poursuivre les études entreprises pour améliorer ces étalons.

La formulation de la définition du mètre a été modifiée par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

La valeur de l'incertitude donnée ici correspond à trois fois l'écart-type de la valeur en question.

Voir Recommandation 1 (CI-2002) du CIPM relative à la révision de la mise en pratique de la définition du mètre, p. 72.

CIPM, 1984

■ Au sujet du sievert (PV, 52, 31 et *Metrologia*, 1985, 21, 90)*

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures,

considérant la confusion qui continue d'exister au sujet de la Résolution 5, votée par la 16^e Conférence générale des poids et mesures (1979),

décide d'introduire l'explication suivante dans la Brochure « Le Système international d'unités (SI) » :

La grandeur équivalent de dose H est le produit de la dose absorbée D de rayonnements ionisants et de deux facteurs sans dimension Q (facteur de qualité) et N (produit de tous les autres facteurs de multiplication) prescrits par l'International Commission on Radiological Protection :

$$H = Q \cdot N \cdot D.$$

Ainsi, pour une radiation donnée, la valeur numérique de H en joules par kilogramme peut être différente de la valeur numérique de D en joules par kilogramme, puisqu'elle est fonction de la valeur de Q et de N . Afin d'éviter tout risque de confusion entre la dose absorbée D et l'équivalent de dose H , il faut employer les noms spéciaux pour les unités correspondantes, c'est-à-dire qu'il faut utiliser le nom gray au lieu de joule par kilogramme pour l'unité de dose absorbée D et le nom sievert au lieu de joule par kilogramme pour l'unité d'équivalent de dose H .

* Le CIPM a décidé en 2002 de modifier les explications sur la grandeur « équivalent de dose » dans la Brochure sur le SI (Recommandation 2 (CI-2002), voir p. 74).

18^e CGPM, 1987■ Ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm (CR, 100 et *Metrologia*, 1988, 25, 115)

Résolution 6

La Dix-huitième Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que l'uniformité mondiale et la constance à long terme des représentations nationales des unités électriques sont d'une importance majeure pour la science, le commerce et l'industrie du point de vue technique comme du point de vue économique,
- que de nombreux laboratoires nationaux utilisent l'effet Josephson et commencent à utiliser l'effet Hall quantique pour conserver respectivement des représentations du volt et de l'ohm qui donnent les meilleures garanties de stabilité à long terme,
- qu'en raison de l'importance de la cohérence entre les unités de mesure des diverses grandeurs physiques les valeurs attribuées à ces représentations doivent être autant que possible en accord avec le SI,
- que l'ensemble des résultats des expériences en cours ou récemment achevées permettra d'établir une valeur acceptable, suffisamment compatible avec le SI, pour le coefficient qui relie chacun de ces effets à l'unité électrique correspondante,

invite les laboratoires dont les travaux peuvent contribuer à établir la valeur du quotient de la tension par la fréquence dans l'effet Josephson et de la tension par le courant dans l'effet Hall quantique à poursuivre activement ces travaux et à communiquer sans délai leurs résultats au Comité international des poids et mesures et,

charge le Comité international des poids et mesures de recommander, dès qu'il le jugera possible, une valeur de chacun de ces quotients et une date à laquelle elle pourra être mise en pratique simultanément dans tous les pays ; cette valeur devrait être annoncée au moins un an à l'avance et pourrait être adoptée au 1^{er} janvier 1990.

CIPM, 1988

■ **Représentation du volt au moyen de l'effet Josephson** (PV, 56, 19 et *Metrologia*, 1989, 26, 69)*

*La CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92) a abrogé l'adoption d'une valeur conventionnelle de K_J .

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures

agissant conformément aux instructions données dans la Résolution 6 de la 18^e Conférence générale des poids et mesures concernant l'ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm,

considérant

- qu'une étude approfondie des résultats des déterminations les plus récentes conduit à une valeur de 483 597,9 GHz/V pour la constante de Josephson, K_J , c'est-à-dire pour le quotient de la fréquence par la tension correspondant au palier de rang $n = 1$ dans l'effet Josephson,
- que l'effet Josephson, avec cette valeur de K_J , peut être utilisé pour établir un étalon de référence de force électromotrice dont l'incertitude (écart-type), par rapport au volt, est estimée à 4×10^{-7} en valeur relative et dont la reproductibilité est nettement meilleure,

recommande

- que l'on adopte, par convention, pour la constante de Josephson, K_J , la valeur $K_{J-90} = 483\,597,9$ GHz/V exactement,
- que cette nouvelle valeur soit utilisée à partir du 1^{er} janvier 1990, et non auparavant, pour remplacer les valeurs actuellement en usage,
- que cette nouvelle valeur soit utilisée à partir de cette même date par tous les laboratoires qui fondent sur l'effet Josephson leurs mesures de force électromotrice,
- qu'à partir de cette même date tous les autres laboratoires ajustent la valeur de leurs étalons de référence pour la mettre en accord avec cette nouvelle valeur,

estime qu'aucun changement de cette valeur recommandée de la constante de Josephson ne sera nécessaire dans un avenir prévisible,

attire l'attention des laboratoires sur le fait que la nouvelle valeur est supérieure de 3,9 GHz/V, soit approximativement 8×10^{-6} en valeur relative, à la valeur donnée en 1972 par le Comité consultatif d'électricité dans sa Déclaration E-72.

■ **Représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique** (PV, 56, 20 et *Metrologia*, 1989, 26, 70)*

Lors de sa 89^e session en 2000, le CIPM a approuvé la déclaration de la 22^e session du CCEM concernant la valeur de la constante de von Klitzing.

Recommandation 2

Le Comité international des poids et mesures,

agissant conformément aux instructions données dans la Résolution 6 de la 18^e Conférence générale des poids et mesures concernant l'ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm,

considérant

- que la plupart des étalons actuels de référence de résistance électrique présentent au cours du temps des variations significatives,
- qu'un étalon de référence de résistance électrique fondé sur l'effet Hall quantique serait stable et reproductible,
- qu'une étude approfondie des résultats des déterminations les plus récentes conduit à une valeur de 25 812,807 Ω pour la constante de von Klitzing, R_K , c'est-à-dire pour le quotient de la tension de Hall par le courant correspondant au plateau de rang $i = 1$ dans l'effet Hall quantique,
- que l'effet Hall quantique, avec cette valeur de R_K , peut être utilisé pour établir un étalon de référence de résistance dont l'incertitude (écart-type), par rapport à l'ohm, est estimée 2×10^{-7} en valeur relative et dont la reproductibilité est nettement meilleure,

*La CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92) a abrogé l'adoption d'une valeur conventionnelle de R_K .

recommande

- que l'on adopte par convention, pour la constante de von Klitzing, R_K , la valeur $R_{K-90} = 25\,812,807\,\Omega$ exactement,
- que cette valeur soit utilisée à partir du 1^{er} janvier 1990, et non auparavant, par tous les laboratoires qui fondent sur l'effet Hall quantique leurs mesures de résistance électrique,
- qu'à partir de cette même date tous les autres laboratoires ajustent la valeur de leurs étalons de référence pour la mettre en accord avec R_{K-90} ,
- que, pour établir un étalon de référence de résistance électrique fondé sur l'effet Hall quantique, les laboratoires suivent les conseils pour la mise en œuvre de la résistance de Hall quantifiée élaborés par le Comité consultatif d'électricité et publiés par les soins du Bureau international des poids et mesures, dans leur édition la plus récente,

et estime qu'aucun changement de cette valeur recommandée de la constante de von Klitzing ne sera nécessaire dans un avenir prévisible.

CIPM, 1989

■ **L'Échelle internationale de température de 1990** (PV, 57, 26 et *Metrologia*, 1990, 27, 13)

Le kelvin a été redéfini par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

Recommandation 5

Le Comité international des poids et mesures (CIPM), conformément à l'invitation formulée par la 18^e Conférence générale des poids et mesures en 1987 (Résolution 7), a adopté l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) en remplacement de l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIP-68).

Le CIPM **souligne** que, par rapport à l'EIP-68, l'EIT-90

- s'étend vers des températures plus basses, jusqu'à 0,65 K, et remplace, de ce fait, aussi l'Échelle provisoire de température de 1976 (EPT-76),
- est en bien meilleur accord avec les températures thermodynamiques correspondantes,
- a une continuité, une précision et une reproductibilité nettement améliorées sur toute son étendue,
- comporte des sous-domaines et donne, dans certains domaines, des définitions équivalentes qui facilitent grandement son utilisation.

Le CIPM **note** de plus, que le texte de l'EIT-90 sera accompagné de deux documents, *Supplementary Information for the ITS-90* et *Techniques for Approximating the ITS-90*, qui seront publiés par le Bureau international des poids et mesures et remis à jour périodiquement.

Le CIPM recommande

- que l'EIT-90 soit mise en application le 1^{er} janvier 1990,
- et que, à la même date, l'EIPT-68 et l'EPT-76 soient abrogées.

19^e CGPM, 1991

■ **Préfixes SI zetta, zepto, yotta et yocto** (CR, 97 et *Metrologia*, 1992, 29, 3)

Résolution 4

La 19^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM),

décide d'ajouter à la liste des préfixes SI pour la formation des noms des multiples et sous-multiples des unités, adoptée par la 11^e CGPM, Résolution 12, paragraphe 3, la 12^e CGPM, Résolution 8 et la 15^e CGPM, Résolution 10, les préfixes suivants :

Facteur par lequel

l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
10 ²¹	zetta	Z
10 ⁻²¹	zepto	z
10 ²⁴	yotta	Y
10 ⁻²⁴	yocto	y

Les noms zepto et zetta évoquent le chiffre sept (septième puissance de 10³) et la lettre « z » remplace la lettre « s » pour éviter le double emploi de la lettre « s » comme symbole. Les noms yocto et yotta sont dérivés de octo, qui évoque le chiffre huit (huitième puissance de 10³) ; la lettre « y » est ajoutée pour éviter l'emploi de la lettre « o » comme symbole à cause de la confusion possible avec le chiffre zéro.

De nouveaux préfixes ont été ajoutés en 2022 par la 27^e CGPM (Résolution 3, voir p. 94).

20^e CGPM, 1995

■ **Suppression de la classe des unités supplémentaires dans le SI** (CR, 121 et *Metrologia*, 1996, 33, 83)

Résolution 8

La 20^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que la 11^e Conférence générale, en 1960, dans sa Résolution 12 établissant le Système international d'unités, SI, a distingué trois classes d'unités, celle des unités de base, celle des unités dérivées et celle des unités supplémentaires, cette dernière comprenant seulement le radian et le stéradian,
- que le statut des unités supplémentaires par rapport aux unités de base et aux unités dérivées, a donné lieu à des discussions,
- que le Comité international des poids et mesures (CIPM), en 1980, constatant que le statut ambigu des unités supplémentaires compromet la cohérence interne du SI, a interprété dans sa Recommandation 1 (CI-1980) les unités supplémentaires, dans le SI, comme des unités dérivées sans dimension,

approuvant l'interprétation donnée par le CIPM en 1980,

décide

- d'interpréter les unités supplémentaires, dans le SI, c'est-à-dire le radian et le stéradian, comme des unités dérivées sans dimension dont les noms et les symboles peuvent être utilisés, mais pas nécessairement, dans les expressions d'autres unités dérivées SI, suivant les besoins,
- et, par conséquent, de supprimer la classe des unités supplémentaires en tant que classe séparée dans le SI.

21^e CGPM, 1999**■ La définition du kilogramme (CR, 141-142 et *Metrologia*, 2000, 37, 94)****Résolution 7**

La 21^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- le besoin d'assurer la stabilité à long terme du Système international d'unités (SI),
- l'incertitude intrinsèque relative à la stabilité à long terme du prototype qui sert à définir l'unité de masse, l'une des unités de base du SI,
- que cette incertitude se répercute sur la stabilité à long terme des trois autres unités de base du SI, nommément l'ampère, la mole et la candela, dont la définition dépend de celle du kilogramme,
- les progrès déjà obtenus dans différentes expériences destinées à relier l'unité de masse à des constantes fondamentales ou atomiques,
- qu'il est souhaitable de disposer de plusieurs méthodes pour réaliser ce lien,

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.

■ Nom spécial donné à l'unité SI mole par seconde, le katal, pour exprimer l'activité catalytique (CR, 145 et *Metrologia*, 2000, 37, 95)**Résolution 12**

La 21^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- l'importance pour la santé humaine et la sécurité de faciliter l'emploi des unités du Système international d'unités (SI) dans les domaines de la médecine et de la biochimie,
- qu'une unité en dehors du SI appelée « unité » représentée par le symbole U, qui est égale à $1 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$, et qui n'est pas cohérente avec le SI, a été largement répandue en médecine et en biochimie depuis 1964 pour exprimer l'activité catalytique,
- que l'absence d'un nom spécial pour désigner l'unité dérivée et cohérente du SI qu'est la mole par seconde a conduit à ce que des résultats de mesures cliniques soient donnés en différentes unités locales,
- que l'emploi des unités SI en médecine et en chimie clinique est vivement recommandé par les unions internationales de ces domaines,
- que la Fédération internationale de chimie clinique et médecine de laboratoire a demandé au Comité consultatif des unités de recommander le nom spécial katal, symbole kat, pour l'unité SI mole par seconde,

- que tandis que la prolifération de noms spéciaux représente un danger pour le SI, il existe des exceptions pour certains sujets liés à la santé humaine et à la sécurité (15^e Conférence générale, 1975, Résolutions 8 et 9, 16^e Conférence générale, 1979, Résolution 5),

notant que le nom katal, symbole kat, est utilisé pour l'unité SI mole par seconde depuis plus de trente ans, pour exprimer l'activité catalytique,

décide d'adopter le nom spécial katal, symbole kat, pour l'unité SI mole par seconde pour exprimer l'activité catalytique, particulièrement dans les domaines de la médecine et de la biochimie,

et **recommande** que, lorsque le katal est utilisé, le mesurande soit spécifié en faisant référence au mode opératoire de mesure ; le mode opératoire de mesure doit mentionner le produit indicateur de la réaction mesurée.

CIPM, 2001

■ « unités SI » et « unités du SI » (PV, 69, 38-39)

Le Comité international a approuvé en 2001 la proposition suivante du CCU concernant les « unités SI » et les « unités du SI » :

« Nous suggérons que les termes « unité SI » et « unité du SI » fassent tous deux référence aux unités de base et aux unités cohérentes dérivées, ainsi qu'à toutes les unités obtenues en les combinant aux préfixes recommandés des multiples et sous-multiples.

Nous suggérons que le terme « unité cohérente du SI » soit utilisé quand nous désirons restreindre son sens aux seules unités de base et aux unités cohérentes dérivées du SI. »

CIPM, 2002

■ Révision de la mise en pratique de la définition du mètre (PV, 70, 90-101 et *Metrologia*, 40, 103-133)

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures,

rappelant

- qu'en 1983 la 17^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM) a adopté une nouvelle définition du mètre,
- qu'à la même date la Conférence générale a invité le Comité international des poids et mesures (CIPM)
 - à établir des instructions pour la réalisation pratique de la nouvelle définition du mètre (la mise en pratique),
 - à choisir des radiations qui puissent être recommandées comme étalons de longueur d'onde pour la mesure interférentielle des longueurs et à établir des instructions pour leur emploi,
 - à poursuivre les études entreprises pour améliorer ces étalons et à compléter ou réviser par la suite ces instructions,
- qu'en réponse à cette invitation le CIPM a adopté la Recommandation 1 (CI-1983) (mise en pratique de la définition du mètre) avec pour effet
 - que le mètre soit réalisé par l'une des méthodes suivantes :

- a) au moyen de la longueur l du trajet parcouru dans le vide par une onde électromagnétique plane pendant la durée t ; cette longueur est obtenue à partir de la mesure de la durée t , en utilisant la relation $l = c_0 \cdot t$ et la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide $c_0 = 299\,792\,458$ m/s,
- b) au moyen de la longueur d'onde dans le vide λ d'une onde électromagnétique plane de fréquence f ; cette longueur d'onde est obtenue à partir de la mesure de la fréquence f , en utilisant la relation $\lambda = c_0/f$ et la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide $c_0 = 299\,792\,458$ m/s,
- c) au moyen de l'une des radiations de la liste ci-dessous, radiations pour lesquelles on peut utiliser la valeur donnée de la longueur d'onde dans le vide ou de la fréquence, avec l'incertitude indiquée, pourvu que l'on observe les conditions spécifiées et le mode opératoire reconnu comme approprié ;
 - que dans tous les cas les corrections nécessaires soient appliquées pour tenir compte des conditions réelles telles que diffraction, gravitation ou imperfection du vide ;
 - que dans le contexte de la relativité générale, le mètre est considéré comme une unité de longueur propre. Sa définition s'applique donc seulement dans un domaine spatial suffisamment petit, pour lequel les effets de la non-uniformité du champ gravitationnel peuvent être ignorés (notons, qu'à la surface de la Terre, cet effet est d'environ 1×10^{-16} par mètre d'altitude en valeur relative). Dans ce cas, les seuls effets à prendre en compte sont ceux de la relativité restreinte. Les méthodes locales, préconisées en b) et c) pour réaliser le mètre, fournissent le mètre propre, mais la méthode préconisée en a) ne le permet pas nécessairement. La méthode préconisée en a) devrait donc être restreinte aux longueurs l suffisamment courtes pour que les effets prévus par la relativité générale soient négligeables par rapport aux incertitudes de mesure. Si ce n'est pas le cas, il convient de se référer au rapport du Groupe de travail du Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) sur l'application de la relativité générale à la métrologie pour l'interprétation des mesures (Application of general relativity to metrology, *Metrologia*, 1997, **34**, 261-290),
 - que le CIPM avait recommandé une liste de radiations à cet effet ;

rappelant aussi qu'en 1992 et en 1997 le CIPM a révisé la mise en pratique de la définition du mètre ;

considérant

- que la science et les techniques continuent à exiger une meilleure exactitude dans la réalisation du mètre ;
- que, depuis 1997, les travaux effectués dans les laboratoires nationaux, au BIPM et dans d'autres laboratoires ont permis d'identifier de nouvelles radiations et des méthodes pour leur mise en œuvre qui conduisent à de plus faibles incertitudes ;
- que l'on s'oriente de plus en plus vers des fréquences optiques pour les activités liées au temps, et que l'on continue à élargir le domaine d'application des radiations recommandées dans la mise en pratique, non seulement à la métrologie dimensionnelle et à la réalisation du mètre, mais aussi à la spectroscopie de haute résolution, à la physique atomique et moléculaire, aux constantes fondamentales et aux télécommunications ;
- que l'on dispose maintenant d'un certain nombre de nouvelles valeurs plus exactes de l'incertitude des fréquences de radiations d'atomes et d'ions refroidis très stables déjà mentionnées dans la liste de radiations recommandées, que la valeur de la fréquence de la radiation de plusieurs espèces d'atomes et d'ions refroidis a aussi été mesurée récemment, et que de nouvelles valeurs améliorées, et présentant des incertitudes réduites de manière significative, d'un certain nombre d'étalons de fréquence optique fondés sur des cuves à gaz ont été déterminées, y compris dans le domaine des longueurs d'ondes pour les télécommunications optiques ;
- que les nouvelles techniques de peigne à impulsions femtosecondes ont un intérêt manifeste pour relier la fréquence des étalons de fréquence optique très stables à celle des étalons de fréquence utilisés pour la réalisation de la seconde du Système international d'unités (SI), que ces techniques de mesure sont un moyen commode pour assurer la traçabilité au SI et peuvent fournir aussi bien des sources de fréquence que des techniques de mesure ;

reconnaît que les techniques de peigne arrivent au moment opportun et sont appropriées, et recommande de poursuivre les recherches pour étudier leurs possibilités ;

accueille favorablement les essais de validation en cours des techniques de peigne effectués par comparaison avec les autres techniques de chaînes de fréquence ;

encourage les laboratoires nationaux de métrologie et les autres laboratoires à poursuivre les études sur les techniques de peigne au plus haut niveau d'exactitude possible et à rechercher la simplicité pour encourager leur mise en pratique la plus étendue ;

recommande

- que la liste des radiations recommandées donnée par le CIPM en 1997 (Recommandation 1 (CI-1997)) soit remplacée par la liste de radiations ci-dessous*, qui inclut ;
 - des valeurs mises à jour de la fréquence des atomes de calcium et d'hydrogène refroidis et de l'ion piégé de strontium,
 - la valeur de la fréquence de nouvelles espèces d'ions refroidis, y compris de l'ion piégé de Hg^+ , de l'ion piégé d' In^+ , et de l'ion piégé d' Yb^+ ,
 - des valeurs mises à jour de la fréquence de lasers asservis sur le rubidium, de lasers à grenat d'yttrium-aluminium dopé au néodyme (Nd:YAG) et de lasers à hélium-néon (He-Ne) asservis sur l'iode, de lasers à hélium-néon asservis sur le méthane, et de lasers à dioxyde de carbone asservis sur le tétraoxyde d'osmium à 10 μm ,
 - des valeurs de la fréquence d'étalons pour les télécommunications optiques, y compris les lasers asservis sur le rubidium et l'acétylène.

...

* La liste des radiations recommandées, Recommandation 1 (CI-2002), figure dans les PV, 70, 93-101 et dans *Metrologia*, 2003, 40, 104-115.

■ Équivalent de dose (PV, 70, 102)

Voir aussi *J. Radiol. Prot.*, 2005, 25, 97-100.

Recommandation 2

Le Comité international des poids et mesures, considérant que

- la définition actuelle de l'unité SI d'équivalent de dose (sievert) comprend un facteur « N » (produit de tous les autres facteurs de multiplication) prescrit par l'International Commission on Radiological Protection (ICRP),
- l'ICRP et l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) ont décidé de supprimer ce facteur N qui n'est plus considéré comme nécessaire,
- la définition actuelle de l'équivalent de dose H dans le Système international d'unités, qui comprend le facteur N , porte à confusion,

décide de modifier l'explication donnée dans la Brochure sur « Le Système International d'Unités (SI) » de la manière suivante :

La grandeur équivalent de dose H est le produit de la dose absorbée D de rayonnements ionisants et du facteur sans dimension Q (facteur de qualité) prescrit par l'ICRU, facteur défini en fonction du transfert d'énergie linéaire :

$$H = Q \cdot D.$$

Ainsi, pour une radiation donnée, la valeur numérique de H en joules par kilogramme peut être différente de la valeur de D en joules par kilogramme, puisqu'elle est fonction de la valeur de Q .

Le Comité **décide** donc de maintenir la dernière phrase de l'explication sous la forme suivante :

Afin d'éviter tout risque de confusion entre la dose absorbée D et l'équivalent de dose H , il faut employer les noms spéciaux pour les unités correspondantes, c'est-à-dire qu'il faut utiliser le nom gray au lieu de joule par kilogramme pour l'unité de dose absorbée D et le nom sievert au lieu de joule par kilogramme pour l'unité d'équivalent de dose H .

CIPM, 2003

■ **Révision de la liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre** (PV, 71, 70 et *Metrologia*, 2004, 41, 99-100)

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures,
considérant que

- l'on dispose depuis peu de meilleures valeurs des fréquences des radiations de certains étalons à ions refroidis très stables, déjà publiées dans la liste des radiations recommandées ;
- l'on a déterminé de meilleures valeurs des fréquences des étalons de fréquence optique dans l'infrarouge, fondés sur des cuves à gaz, dans le domaine des télécommunications optiques, valeurs déjà publiées dans la liste des radiations recommandées ;
- l'on a effectué récemment et pour la première fois des mesures de fréquence à l'aide de peignes à impulsions femtosecondes de certains étalons fondés sur des cuves à iode, qui figurent sur la liste complémentaire de radiations recommandées, mesures qui conduisent à une réduction considérable de l'incertitude ;

propose que la liste des radiations recommandées soit révisée pour inclure :

- les valeurs mises à jour des fréquences de la transition quadripolaire de l'ion piégé de $^{88}\text{Sr}^+$ et de la transition octupolaire de l'ion piégé de $^{171}\text{Yb}^+$;
- la valeur mise à jour de la fréquence de l'étalon asservi sur l'acétylène à 1,54 μm ;
- des valeurs mises à jour de la fréquence d'étalons asservis sur l'iode à 543 nm et à 515 nm.

22^e CGPM, 2003

■ **Symbole du séparateur décimal** (CR, 169 et *Metrologia*, 2004, 41, 104)

Résolution 10

La 22^e Conférence générale des poids et mesures,
considérant que

- l'un des principaux objectifs du Système international d'unités (SI) est de permettre d'exprimer la valeur des grandeurs d'une manière aisément compréhensible dans le monde entier,
- la valeur d'une grandeur est normalement exprimée par un nombre qui multiplie une unité,
- souvent le nombre utilisé pour exprimer la valeur d'une grandeur contient plusieurs chiffres, avec une partie entière et une partie décimale,
- la 9^e Conférence générale dans sa Résolution 7 (1948) avait décidé que « Dans les nombres, la virgule (usage français) ou le point (usage britannique) sont utilisés seulement pour séparer la partie entière des nombres de leur partie décimale »,
- conformément à la décision du Comité international des poids et mesures lors de sa 86^e session (1997), le Bureau international des poids et mesures utilise maintenant le point (sur la ligne) comme séparateur décimal dans toutes les versions en anglais de ses publications, y compris dans le texte anglais de la Brochure sur le SI (la référence internationale sur le SI), tout en continuant à utiliser la virgule (sur la ligne) comme séparateur décimal dans toutes ses publications en français,
- néanmoins certaines organisations internationales utilisent la virgule sur la ligne comme séparateur décimal dans leurs documents en anglais,
- de plus, certaines organisations internationales, y compris certaines organisations internationales de normalisation, spécifient que le séparateur décimal doit être la virgule sur la ligne, dans toutes les langues,
- la recommandation d'utiliser la virgule sur la ligne comme séparateur décimal est, dans de nombreuses langues, en conflit avec l'usage courant, qui consiste à utiliser le point sur la ligne,

- le fait d'utiliser le point sur la ligne ou la virgule sur la ligne comme séparateur décimal n'est pas toujours lié à la langue, car certains pays de même langue maternelle ont des usages différents, alors que d'autres pays pratiquant le plurilinguisme utilisent le point sur la ligne ou la virgule sur la ligne suivant la langue,

déclare que le symbole du séparateur décimal pourra être le point sur la ligne ou la virgule sur la ligne,

réaffirme que « Pour faciliter la lecture, les nombres peuvent être partagés en tranches de trois chiffres ; ces tranches ne sont jamais séparées par des points, ni par des virgules », comme le recommande la Résolution 7 de la 9^e Conférence générale de 1948.

CIPM, 2005

■ Clarification de la définition du kelvin, unité de température thermo-dynamique (PV, 73, 119 et *Metrologia*, 2006, 43, 177-178)*

*Le kelvin a été redéfini par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p.92).

Recommandation 2

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

considérant

- que le kelvin, l'unité de température thermodynamique, est défini par la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau,
- que la température du point triple de l'eau dépend des abondances relatives des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène présents dans l'échantillon d'eau utilisé,
- que cet effet est maintenant l'une des sources majeures d'écarts observés entre les différentes réalisations du point triple de l'eau,

décide

- que la définition du kelvin se réfère à une eau de composition isotopique spécifiée,
- que cette composition isotopique de l'eau soit la suivante :
0,000 155 76 mole de ^2H par mole de ^1H ,
0,000 379 9 mole de ^{17}O par mole de ^{16}O , et
0,002 005 2 mole de ^{18}O par mole de ^{16}O ,

cette composition étant celle du matériau de référence de l'Agence internationale de l'énergie atomique «Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) », recommandée par l'Union internationale de chimie pure et appliquée dans « Atomic Weights of the Elements: Review 2000 » ,

- que cette composition soit définie dans une note attachée à la définition du kelvin dans la Brochure sur le SI de la manière suivante :
« Cette définition se réfère à l'eau de composition isotopique définie par les rapports de quantité de matière suivants : 0,000 155 76 mole de ^2H par mole de ^1H , 0,000 379 9 mole de ^{17}O par mole de ^{16}O et 0,002 005 2 mole de ^{18}O par mole de ^{16}O ».

■ **Révision de la liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre** (PV, 73, 120 et *Metrologia*, 2006, 43, 178)

Recommandation 3

Le Comité international des poids et mesures,

considérant que

- l'on dispose de meilleures valeurs des fréquences des radiations de certains étalons à ion ou à atomes refroidis très stables, déjà publiées dans la liste des radiations recommandées ;
- l'on a déterminé de meilleures valeurs des fréquences des étalons de fréquence optique, fondés sur des cuves à gaz, dans le domaine des télécommunications optiques, dans l'infrarouge, valeurs déjà publiées dans la liste des radiations recommandées ;
- l'on a déterminé de meilleures valeurs des fréquences de certains étalons fondés sur des cuves à iode, valeurs déjà publiées dans la liste complémentaire des sources recommandées ;
- l'on a effectué pour la première fois des mesures de la fréquence de nouveaux atomes refroidis, d'atomes dans la région de l'infrarouge proche et de molécules dans le domaine des télécommunications optiques, à l'aide de peignes à impulsions femtosecondes ;

décide que la liste des radiations recommandées soit révisée pour y inclure :

- les valeurs mises à jour des fréquences des transitions quadripolaires de l'ion piégé de $^{88}\text{Sr}^+$, de l'ion piégé de $^{199}\text{Hg}^+$ et de l'ion piégé de $^{171}\text{Yb}^+$;
- la valeur mise à jour de la fréquence de la transition de l'atome de calcium ;
- la valeur mise à jour de la fréquence de l'étalon asservi sur l'acétylène à 1,54 μm ;
- la valeur mise à jour de la fréquence de l'étalon asservi sur l'iode à 515 nm ;
- la fréquence de la transition de l'atome de ^{87}Sr à 698 nm ;
- les fréquences des transitions de l'atome de ^{87}Rb autour de 760 nm ;
- les fréquences des transitions de la bande ($\nu_1 + \nu_3$) de $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$, et des bandes ($\nu_1 + \nu_3$) et ($\nu_1 + \nu_3 + \nu_4 + \nu_5$) de $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$, autour de 1,54 μm .

CIPM, 2006

■ **Au sujet des représentations secondaires de la seconde** (PV, 74, 123 et *Metrologia*, 2007, 44, 97)

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

considérant

- qu'une liste commune de « valeurs recommandées des fréquences étalons destinées à la mise en pratique de la définition du mètre et aux représentations secondaires de la seconde » est à établir,
- que le Groupe de travail commun au Comité consultatif des longueurs (CCL) et au CCTF sur la mise en pratique de la définition du mètre et sur les représentations secondaires de la seconde, lors de sa réunion au Bureau international des poids et mesures (BIPM) en septembre 2005, a discuté des fréquences des radiations candidates potentielles en vue de leur inclusion dans la liste des représentations secondaires de la seconde,
- que le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF a examiné et mis à jour les valeurs des fréquences des transitions de l'ion de mercure (Hg), de l'ion de strontium (Sr), de l'ion d'ytterbium (Yb) et de l'atome neutre de strontium lors de sa session de septembre 2006,
- que le CCTF avait déjà recommandé dans sa Recommandation CCTF 1 (2004) la fréquence de la transition quantique hyperfine non perturbée de l'état fondamental de l'atome de ^{87}Rb comme représentation secondaire de la seconde,

recommande que les fréquences des transitions suivantes soient utilisées comme représentations secondaires de la seconde et soient intégrées à la nouvelle liste des « valeurs recommandées des fréquences étalons destinées à la mise en pratique de la définition du mètre et aux représentations secondaires de la seconde »

- la transition quantique hyperfine non perturbée de l'état fondamental de l'atome de ^{87}Rb , à la fréquence de $\nu^{87}\text{Rb} = 6\,834\,682\,610,904\,324\text{ Hz}$, avec une incertitude-type relative estimée de 3×10^{-15} ,
- la transition optique non perturbée $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ de l'ion de $^{88}\text{Sr}^+$, à la fréquence de $\nu^{88}\text{Sr}^+ = 444\,779\,044\,095\,484\text{ Hz}$, avec une incertitude-type relative estimée de 7×10^{-15} ,
- la transition optique non perturbée $5d^{10}\ 6s\ ^2S_{1/2} (F = 0) - 5d^9\ 6s^2\ ^2D_{5/2} (F = 2)$ de l'ion de $^{199}\text{Hg}^+$, à la fréquence de $\nu^{199}\text{Hg}^+ = 1\,064\,721\,609\,899\,145\text{ Hz}$, avec une incertitude-type relative estimée de 3×10^{-15} ,
- la transition optique non perturbée $6s\ ^2S_{1/2} (F = 0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F = 2)$ de l'ion de $^{171}\text{Yb}^+$, à la fréquence de $\nu^{171}\text{Yb}^+ = 688\,358\,979\,309\,308\text{ Hz}$, avec une incertitude-type relative estimée de 9×10^{-15} ,
- la transition optique non perturbée $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{87}Sr , à la fréquence de $\nu^{87}\text{Sr} = 429\,228\,004\,229\,877\text{ Hz}$, avec une incertitude-type relative estimée de $1,5 \times 10^{-14}$.

CIPM, 2007

■ Révision de la liste des radiations recommandées pour la mise en pratique de la définition du mètre (PV, 75, 85)

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures,

considérant que

- l'on a déterminé des valeurs plus précises des fréquences de molécules dans le domaine des télécommunications optiques, valeurs déjà publiées dans la liste des fréquences étalons, à l'aide de peignes à impulsions femtosecondes ;
- l'on a déterminé, pour la première fois, les fréquences de molécules dans le domaine des télécommunications optiques, à l'aide de peignes à impulsions femtosecondes ;
- l'on a déterminé, pour la première fois, les fréquences de certaines transitions dans l'iode, en cellule, transitions proches de la radiation émise par l'étalon de fréquence optique à 532 nm, à l'aide de peignes à impulsions femtosecondes ;

propose que la liste des fréquences étalons soit révisée pour y inclure :

- les valeurs mises à jour des fréquences de la bande ($\nu_1 + \nu_3$) de $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$, autour de 1,54 μm ;
- les valeurs des fréquences de la bande ($2\nu_1$) de $^{12}\text{C}_2\text{HD}$, autour de 1,54 μm ;
- les valeurs des fréquences des composantes hyperfines des transitions P(142) 37-0, R(121) 35-0 et R(85) 33-0 dans l'iode à 532 nm.

23^e CGPM, 2007

■ Sur la révision de la mise en pratique de la définition du mètre et sur la mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence (CR, 171)

Résolution 9

La 23^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- les progrès rapides et les améliorations importantes des performances des étalons optiques de fréquence,
- que les techniques des peignes à impulsions femtosecondes sont maintenant couramment utilisées pour relier les radiations optiques et micro-ondes dans un même lieu,
- que les laboratoires nationaux de métrologie travaillent à des techniques de comparaison d'étalons optiques de fréquence sur de courtes distances,
- que des techniques de comparaison à distance doivent être élaborées au niveau international afin de pouvoir comparer les étalons optiques de fréquence,

accueille favorablement

- les activités du Groupe de travail commun au Comité consultatif des longueurs et au Comité consultatif du temps et des fréquences pour examiner les fréquences des représentations de la seconde fondées sur des fréquences optiques,
- les ajouts à la mise en pratique de la définition du mètre des radiations recommandées approuvées par le Comité international des poids et mesures en 2002, 2003, 2005, 2006 et 2007,
- l'initiative prise par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) de s'interroger sur le moyen de comparer les étalons optiques de fréquence,

recommande que

- les laboratoires nationaux de métrologie engagent les ressources nécessaires à la mise au point d'étalons optiques de fréquence et à leur comparaison,
- le BIPM œuvre à la coordination d'un projet international auquel participeraient les laboratoires nationaux de métrologie, projet orienté vers l'étude des techniques qui pourraient servir à comparer les étalons optiques de fréquence.

■ Sur la clarification de la définition du kelvin, unité de température thermodynamique (CR, 172)

Résolution 10

La 23^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que le kelvin, l'unité de température thermodynamique, est défini par la fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau,
- que la température du point triple de l'eau dépend des abondances relatives des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène présents dans l'échantillon d'eau utilisé,
- que cet effet est maintenant l'une des sources majeures d'écarts observés entre les différentes réalisations du point triple de l'eau,

prend acte de, et accueille favorablement, la décision du Comité international en octobre 2005, sur l'avis du Comité consultatif de thermométrie, selon laquelle

- la définition du kelvin se réfère à une eau de composition isotopique spécifiée
- cette composition isotopique de l'eau est la suivante :

0,000 155 76 mole de ^2H par mole de ^1H ,

0,000 379 9 mole de ^{17}O par mole de ^{16}O , et

0,002 005 2 mole de ^{18}O par mole de ^{16}O ,

cette composition étant celle du matériau de référence de l'Agence internationale de l'énergie atomique « Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) », recommandée par l'Union internationale de chimie pure et appliquée dans « Atomic Weights of the Elements: Review 2000 »,

- cette composition est définie dans une note attachée à la définition du kelvin dans la Brochure sur le Système international d'unités de la manière suivante :
« Cette définition se réfère à l'eau de composition isotopique définie par les rapports de quantité de matière suivants : 0,000 155 76 mole de ^2H par mole de ^1H , 0,000 379 9 mole de ^{17}O par mole de ^{16}O et 0,002 005 2 mole de ^{18}O par mole de ^{16}O ».

Le kelvin a été redéfini par la CGPM à sa 26^e réunion en 2018 (Résolution 1, voir p. 92).

■ Sur l'éventuelle redéfinition de certaines unités de base du Système international d'unités (SI) (CR, 174)

Résolution 12

La 23^e Conférence générale des poids et mesures,

considérant

- que les laboratoires nationaux de métrologie et le Bureau international des poids et mesures (BIPM) ont consacré des efforts considérables depuis de nombreuses années en vue de promouvoir et d'améliorer le Système international d'unités (SI), en repoussant les limites de la métrologie, afin de définir les unités de base du SI en fonction de constantes de la nature – les constantes physiques fondamentales,
- 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 (2^e CGPM, 1889 et 3^e CGPM, 1901), et que les définitions de l'ampère, de la mole et de la candela dépendent du kilogramme,

La CGPM à sa 26^e réunion (2018) a approuvé la révision du SI (Résolution 1, voir p. 92).

- la 21^e Conférence générale a adopté en 1999 la Résolution 7, laquelle recommandait 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 »,
- de nombreux progrès ont été réalisés ces dernières années pour relier la masse du prototype international à la constante de Planck, h , ou à la constante d'Avogadro, N_A ,
- les initiatives prises pour déterminer la valeur d'un certain nombre de constantes fondamentales, y compris celle de la constante de Boltzmann k_B ,
- que des implications significatives et des avantages potentiels découlent de nouvelles définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole, suite aux progrès récents accomplis,
- la Recommandation 1 (CI-2005) du Comité international adoptée lors de sa session d'octobre 2005 et diverses recommandations des Comités consultatifs sur la redéfinition d'une ou plusieurs unités de base du SI,

notant

- que les changements dans les définitions des unités du SI doivent être cohérents,
- que les définitions des unités de base du SI doivent être faciles à comprendre,
- le travail effectué par le Comité international et par ses Comités consultatifs,
- la nécessité de contrôler les résultats des expériences,
- l'importance de solliciter les commentaires et les contributions de la vaste communauté des scientifiques et des utilisateurs,
- la décision du Comité international en 2005 d'approuver, en principe, la préparation de nouvelles définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et la possibilité de redéfinir la mole,

recommande que les laboratoires nationaux de métrologie et le BIPM

- poursuivent les expériences appropriées afin que le Comité international puisse juger s'il est possible ou non de redéfinir le kilogramme, l'ampère, le kelvin et la mole en utilisant des valeurs fixées pour certaines constantes fondamentales lors de la 24^e Conférence générale en 2011,
- réfléchissent, en collaboration avec le Comité international, ses Comités consultatifs et les groupes de travail concernés, aux moyens pratiques de réaliser les nouvelles définitions fondées sur des valeurs fixées de constantes fondamentales, préparent une mise en pratique de chacune d'elles, et examinent quel est le moyen le plus approprié pour expliquer les nouvelles définitions aux utilisateurs,
- suscitent des campagnes de sensibilisation pour alerter les communautés d'utilisateurs sur l'éventualité de nouvelles définitions afin que leurs implications techniques et juridiques, ainsi que leurs réalisations pratiques, soient discutées et examinées avec soin,

et demande au Comité international de présenter un rapport à ce sujet à la 24^e Conférence générale en 2011 et d'entreprendre tous les préparatifs qu'il considère comme nécessaires de manière à ce que, si les résultats des expériences sont jugés convenables et les besoins des utilisateurs satisfaits, il puisse être officiellement proposé à la 24^e Conférence générale d'approuver de nouvelles définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole.

CIPM, 2009**■ Mises à jour de la liste des fréquences étalons (PV, 77, 105)****Recommandation 2**

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

considérant

- qu'une liste commune des « valeurs recommandées de fréquences étalons destinées à la mise en pratique de la définition du mètre et aux représentations secondaires de la seconde » a été établie ;
- que le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence a examiné plusieurs fréquences candidates en vue de leur inclusion dans cette liste ;

recommande

que les fréquences de transition suivantes soient incluses ou mises à jour dans la liste des fréquences étalons recommandées :

- la transition optique non perturbée $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{87}Sr , à la fréquence de $f = 429\ 228\ 004\ 229\ 873,7$ Hz, avec une incertitude-type relative de 1×10^{-15} (cette radiation a déjà été approuvée par le CIPM comme représentation secondaire de la seconde) ;
- la transition optique non perturbée $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{88}Sr , à la fréquence de $f = 429\ 228\ 066\ 418\ 012$ Hz, avec une incertitude-type relative de 1×10^{-14} ;
- la transition optique non perturbée $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$ de l'ion de $^{40}\text{Ca}^+$, à la fréquence de $f = 411\ 042\ 129\ 776\ 393$ Hz, avec une incertitude-type relative de 4×10^{-14} ;
- la transition optique non perturbée $^2S_{1/2} (F = 0) - ^2F_{7/2} (F = 3, m_F = 0)$ de l'ion de $^{171}\text{Yb}^+$, à la fréquence de $f = 642\ 121\ 496\ 772\ 657$ Hz, avec une incertitude-type relative de 6×10^{-14} ;
- la transition optique non perturbée $6s^2\ ^1S_0 (F = 1/2) - 6s\ 6p\ ^3P_0 (F = 1/2)$ de l'atome neutre de ^{171}Yb à la fréquence de $f = 518\ 295\ 836\ 590\ 864$ Hz, avec une incertitude-type relative de $1,6 \times 10^{-13}$.

24^e CGPM, 2011**■ Sur l'éventuelle révision à venir du Système international d'unités, le SI (CR, 212)****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,

La CGPM à sa 26^e réunion (2018) a approuvé la révision du SI (Résolution 1, voir p. 92).

- 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,

* Le symbole X apparaissant dans l'expression des constantes indique que le chiffre correspondant n'était pas connu au moment de l'adoption de la Résolution.

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 $0,012 kg mol^{-1}$, 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 $m(\text{K})$ 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 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.

■ Sur la révision de la mise en pratique de la définition du mètre et sur la mise au point de nouveaux étalons optiques de fréquence (CR, 227)

Résolution 8

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

considérant

- que les performances des étalons optiques de fréquence s'améliorent rapidement et de manière très significative,
- que les laboratoires nationaux de métrologie mettent actuellement en œuvre des techniques de comparaison à courte distance d'étalons optiques de fréquence,
- que des techniques de comparaison à distance d'étalons optiques de fréquence doivent être mises au point au niveau international,

accueille favorablement

- les activités du Groupe de travail commun au Comité consultatif des longueurs (CCL) et au Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) visant à examiner les fréquences des représentations optiques de la seconde,
- les éléments ajoutés par le CIPM en 2009 à la liste commune des « valeurs recommandées de fréquences étalons destinées à la mise en pratique de la définition du mètre et aux représentations secondaires de la seconde »,
- l'établissement d'un groupe de travail du CCTF sur la coordination de la mise au point de techniques avancées de comparaison de temps et de fréquences,

recommande que

- les laboratoires nationaux de métrologie engagent les ressources nécessaires à la mise au point d'étalons optiques de fréquence et à leur comparaison,
- le BIPM aide à la coordination d'un projet international auquel participeraient les laboratoires nationaux de métrologie, portant sur l'étude des techniques qui pourraient être utilisées pour comparer les étalons optiques de fréquence.

CIPM, 2013

■ Mises à jour de la liste des fréquences étalons (PV, 81, 53)

Recommandation 1

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

considérant

- qu'une liste commune des « valeurs recommandées des fréquences étalons destinées à la mise en pratique de la définition du mètre et aux représentations secondaires de la seconde » a été établie,
- que le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence a examiné plusieurs fréquences candidates en vue de leur inclusion dans cette liste,

recommande d'apporter les changements suivant à la liste commune des « valeurs recommandées des fréquences étalons destinées à la mise en pratique de la définition du mètre et aux représentations secondaires de la seconde » :

- inclure la fréquence de la transition suivante dans la liste des fréquences étalons recommandées :
 - la transition optique non perturbée $6s^2 \ ^1S_0 - 6s \ 6p \ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{199}Hg , à la fréquence de 1 28 575 290 808 162 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,7 \times 10^{-14}$;
- mettre à jour les fréquences des transitions suivantes dans la liste des fréquences étalons recommandées :
 - la transition optique non perturbée $4s \ ^2S_{1/2} - 3d \ ^2D_{5/2}$ de l'ion de $^{40}\text{Ca}^+$, à la fréquence de 411 042 129 776 395 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,5 \times 10^{-14}$;

- la transition optique non perturbée $1S - 2S$ de l'atome neutre de 1H , à la fréquence de 1 233 030 706 593 518 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,2 \times 10^{-14}$;

Remarque : cette fréquence correspond à la moitié de l'écart en énergie entre les états $1S$ et $2S$;

- mettre à jour les fréquences des transitions suivantes dans la liste des fréquences étalons recommandées et les approuver comme représentations secondaires de la seconde :
 - la transition optique non perturbée $6s\ ^2S_{1/2} - 4f^{13}6s^2\ ^2F_{7/2}$ de l'ion de $^{171}Yb^+$ (octupôle), à la fréquence de 642 121 496 772 645,6 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,3 \times 10^{-15}$;
 - la transition optique non perturbée $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{171}Yb , à la fréquence de 518 295 836 590 865,0 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $2,7 \times 10^{-15}$;
- inclure la fréquence de la transition suivante dans la liste des fréquences étalons recommandées et l'approuver comme représentation secondaire de la seconde :
 - la transition optique non perturbée $3s^2\ ^1S_0 - 3s\ 3p\ ^3P_0$ de l'ion de $^{27}Al^+$, à la fréquence de 1 121 015 393 207 857,3 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,9 \times 10^{-15}$;
- mettre à jour les fréquences des transitions suivantes dans la liste des fréquences étalons recommandées et les approuver comme représentations secondaires de la seconde :
 - la transition optique non perturbée $5d^{10}\ 6s\ ^2S_{1/2} - 5d^9\ 6s^2\ ^2D_{5/2}$ de l'ion de $^{199}Hg^+$, à la fréquence de 1 064 721 609 899 145,3 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,9 \times 10^{-15}$;
 - la transition optique non perturbée $6s\ ^2S_{1/2} (F = 0, m_F = 0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F = 2, m_F = 0)$ de l'ion de $^{171}Yb^+$ (quadrupôle), à la fréquence de 688 358 979 309 307,1 Hz avec une incertitude-type relative estimée de 3×10^{-15} ;
 - la transition optique non perturbée $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ de l'ion de $^{88}Sr^+$, à la fréquence de 444 779 044 095 485,3 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $4,0 \times 10^{-15}$;
 - la transition optique non perturbée $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{87}Sr , à la fréquence de 429 228 004 229 873,4 Hz avec une incertitude-type relative estimée de 1×10^{-15} ;
- mettre à jour la fréquence de la transition suivante dans la liste des fréquences étalons recommandées et l'approuver comme représentation secondaire de la seconde :
 - la transition quantique hyperfine non perturbée de l'état fondamental de l'atome de ^{87}Rb , à la fréquence de 6 834 682 610,904 312 Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,3 \times 10^{-15}$.

Remarque : La valeur de l'incertitude-type est supposée correspondre à un niveau de confiance de 68 %. Toutefois, étant donné le nombre très limité de résultats disponibles, il se peut que, rétrospectivement, cela ne s'avère pas exact.

25^e CGPM, 2014

■ **Sur la révision à venir du Système international d'unités, le SI** (CR, 177 et *Metrologia*, 2015, 52, 155)

La CGPM à sa 26^e réunion (2018) a approuvé la révision du SI (Résolution 1, voir p. 92).

Résolution 1

La Conférence générale des poids et mesures (CGPM), à sa 25^e réunion,

rappelant

- la Résolution 1 adoptée par la CGPM à sa 24^e réunion (2011) qui prend acte de l'intention du Comité international des poids et mesures (CIPM) de proposer une révision du SI consistant à relier les définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole à des valeurs numériques exactes de la constante de Planck h , de la charge élémentaire e , de la constante de Boltzmann k , et de la constante d'Avogadro N_A , respectivement, et à modifier la façon de définir le SI, ainsi que la formulation des définitions des unités du SI pour les grandeurs temps, longueur, masse, courant électrique, température thermodynamique, quantité de matière et intensité lumineuse, de manière à ce que les constantes de référence sur lesquelles se fonde le SI apparaissent clairement,
- les nombreux avantages, mentionnés dans la Résolution 1, que présentera cette révision du SI pour la science, la technologie, l'industrie et le commerce, tel que le fait de relier le kilogramme à une constante de la nature et non plus à la masse d'un objet matériel (artefact), ce qui assurera sa stabilité à long terme,
- la Résolution 7 adoptée par la CGPM à sa 21^e réunion (1999) qui encourage les laboratoires nationaux de métrologie à poursuivre les expériences visant à parvenir à une telle redéfinition du kilogramme,
- la Résolution 12 adoptée par la CGPM à sa 23^e réunion (2007) qui décrit les travaux devant être effectués par les laboratoires nationaux de métrologie, le Bureau international des poids et mesures (BIPM), ainsi que le CIPM et ses Comités consultatifs, afin de permettre l'adoption par la CGPM de la révision du SI,

considérant les progrès significatifs réalisés afin d'effectuer les travaux nécessaires, parmi lesquels,

- l'acquisition des données pertinentes, et leur analyse par le Committee on Data for Science and Technology (CODATA), afin d'obtenir les valeurs requises pour les constantes fondamentales de h , e , k , et N_A ,
- la mise au point par le BIPM d'un ensemble d'étalons de masse de référence qui permettra de faciliter la dissémination de l'unité de masse une fois le SI révisé,
- la préparation des mises en pratique des nouvelles définitions du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole,

notant que le Comité consultatif des unités (CCU), le CIPM, le BIPM, les laboratoires nationaux de métrologie et les Comités consultatifs doivent poursuivre leurs travaux en se concentrant sur

- la mise en place de campagnes de sensibilisation pour informer les communautés d'utilisateurs et le grand public du projet de révision du SI,
- la préparation de la 9^e édition de la *Brochure sur le SI* dans laquelle le SI révisé serait présenté de façon compréhensible par l'ensemble des lecteurs sans pour autant en compromettre la rigueur scientifique,

considérant que, malgré les progrès effectués, les données disponibles ne semblent pas encore suffisamment robustes pour que la CGPM adopte le SI révisé lors de sa 25^e réunion,

encourage

- les laboratoires nationaux de métrologie, le BIPM et les institutions universitaires à poursuivre leurs efforts afin de déterminer expérimentalement les valeurs des constantes de h , e , k et N_A au niveau d'incertitude requis,
- les laboratoires nationaux de métrologie à continuer activement à examiner et discuter de ces résultats au sein des Comités consultatifs,

- le CIPM à continuer à planifier la mise en œuvre de la Résolution 1 adoptée par la CGPM à sa 24^e réunion (2011), en collaboration étroite avec les Comités consultatifs et le CCU,
- le CIPM et ses Comités consultatifs, les laboratoires nationaux de métrologie, le BIPM, ainsi que d'autres organisations telles que l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), à poursuivre leurs efforts afin d'effectuer les travaux nécessaires pour que la CGPM adopte, lors de sa 26^e réunion, une résolution permettant de remplacer le SI actuel par le SI révisé, sous réserve que les données obtenues, tant concernant leur nombre, les incertitudes associées ou leur niveau de cohérence, soient jugées satisfaisantes.

CIPM, 2015

■ Mises à jour de la liste des fréquences étalons (PV, 83, 54)

Des mises à jour sont disponibles sur le site internet du BIPM.

Recommandation 2

Le Comité international des poids et mesures (CIPM),

considérant

- qu'une liste commune des « valeurs recommandées de fréquences étalons destinées à la mise en pratique de la définition du mètre et aux représentations secondaires de la seconde » a été établie,
- que le Groupe de travail commun au CCL et au CCTF sur les étalons de fréquence a examiné plusieurs fréquences candidates afin de mettre à jour cette liste,

recommande

que les fréquences des transitions suivantes soient mises à jour dans la liste des fréquences étalons recommandées :

- la transition optique non perturbée $6s^2 \ ^1S_0 - 6s6p \ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{199}Hg , à la fréquence de $f_{199\text{Hg}} = 1\,128\,575\,290\,808\,154,8$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de 6×10^{-16} ;
- la transition optique non perturbée $6s \ ^2S_{1/2} - 4f^{13} \ 6s^2 \ ^2F_{7/2}$ de l'ion de $^{171}\text{Yb}^+$, à la fréquence de $f_{171\text{Yb}^+}$ (octupôle) = $642\,121\,496\,772\,645,0$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de 6×10^{-16} (cette radiation a déjà été approuvée par le CIPM comme représentation secondaire de la seconde) ;
- la transition optique non perturbée $6s \ ^2S_{1/2} (F = 0, m_F = 0) - 5d \ ^2D_{3/2} (F = 2, m_F = 0)$ de l'ion de $^{171}\text{Yb}^+$, à la fréquence de $f_{171\text{Yb}^+}$ (quadrupôle) = $688\,358\,979\,309\,308,3$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de 6×10^{-16} (cette radiation a déjà été approuvée par le CIPM comme représentation secondaire de la seconde) ;
- la transition optique non perturbée $5s \ ^2S_{1/2} - 4d \ ^2D_{5/2}$ de l'ion de $^{88}\text{Sr}^+$, à la fréquence de $f_{88\text{Sr}^+} = 444\,779\,044\,095\,486,6$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,6 \times 10^{-15}$ (cette radiation a déjà été approuvée par le CIPM comme représentation secondaire de la seconde) ;
- la transition optique non perturbée $4s \ ^2S_{1/2} - 3d \ ^2D_{5/2}$ de l'ion de $^{40}\text{Ca}^+$, à la fréquence de $f_{40\text{Ca}^+} = 411\,042\,129\,776\,398,4$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de $1,2 \times 10^{-14}$;
- la transition optique non perturbée $1S - 2S$ de l'atome neutre de ^1H , à la fréquence de $f_{1\text{H}} = 1\,233\,030\,706\,593\,514$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de 9×10^{-15} ;

Remarque : cette fréquence correspond à la moitié de l'écart en énergie entre les états 1S et 2S ;

- la transition optique non perturbée $5s^2 \ ^1S_0 - 5s5p \ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{87}Sr , à la fréquence de $f_{87\text{Sr}} = 429\,228\,004\,229\,873,2$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de 5×10^{-16} (cette radiation a déjà été approuvée par le CIPM comme représentation secondaire de la seconde) ;
- la transition optique non perturbée $6s^2 \ ^1S_0 - 6s6p \ ^3P_0$ de l'atome neutre de ^{171}Yb , à la fréquence de $f_{171\text{Yb}} = 518\,295\,836\,590\,864,0$ Hz avec une incertitude-type relative estimée de 2×10^{-15} (cette radiation a déjà été approuvée par le CIPM comme représentation secondaire de la seconde) ;

- la transition hyperfine non perturbée de l'état fondamental de l'atome de ^{87}Rb , à la fréquence de $f_{87\text{Rb}} = 6\,834\,682\,610,904\,310\text{ Hz}$ avec une incertitude-type relative estimée de 7×10^{-16} (cette radiation a déjà été approuvée par le CIPM comme représentation secondaire de la seconde) ;

recommande par ailleurs

que les fréquences des transitions suivantes soient incluses dans la liste des fréquences étalons recommandées :

- Molécule absorbante de $^{127}\text{I}_2$, composante a_1 du spectre d'absorption saturée, transition R(36) 32-0.

Les valeurs $f_{a1} = 564\,074\,632,42\text{ MHz}$

$\lambda_{a1} = 531\,476\,582,65\text{ fm}$

avec une incertitude-type relative estimée de 1×10^{-10} s'appliquent à la radiation d'un laser à diode à rétroaction répartie doublé en fréquence, asservi à l'aide d'une cellule d'iode située à l'extérieur du laser.

- Atome absorbant de ^{87}Rb , transition $5S_{1/2} - 5P_{3/2}$, croisement de niveaux entre les composantes hyperfines d et f de l'absorption saturée à 780 nm (transition D2).

Les valeurs $f_{\text{croisement d/f}} = 384\,227\,981,9\text{ MHz}$

$\lambda_{\text{croisement d/f}} = 780\,246\,291,6\text{ fm}$

avec une incertitude-type relative estimée de 5×10^{-10} s'appliquent à la radiation d'un laser accordable à diode et à cavité externe, asservi sur la résonance de croisement de niveaux d/f dans une cellule de rubidium située à l'extérieur du laser.

Remarque : La valeur de l'incertitude-type est supposée correspondre à un niveau de confiance de 68 %. Toutefois, étant donné le nombre très limité de résultats disponibles, il se peut que, rétrospectivement, cela ne s'avère pas exact.

CIPM, 2017

■ Sur les progrès réalisés en vue d'une éventuelle révision du SI (PV, 85, 28)

Décision 10

Le CIPM accueille favorablement les recommandations relatives à la révision du SI formulées par ses Comités consultatifs.

Le CIPM note que les conditions fixées pour procéder à la révision du SI sont désormais remplies et décide de soumettre le Projet de résolution A à la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) à sa 26^e réunion et de prendre toutes les autres dispositions nécessaires en vue de procéder, tel que cela a été planifié, à la redéfinition du kilogramme, de l'ampère, du kelvin et de la mole.

26^e CGPM, 2018

■ **Sur la révision du Système international d'unités (SI)** (CR, 210 et *Metrologia*, 2019, **56**, 022001)

Résolution 1

La Conférence générale des poids et mesures (CGPM), à sa 26^e réunion,

considérant

- qu'il est essentiel de disposer d'un Système international d'unités (SI) uniforme et accessible dans le monde entier, pour le commerce international, l'industrie de haute technologie, la santé humaine et la sécurité, la protection de l'environnement, les études sur l'évolution du climat, ainsi que la science fondamentale qui étaye tous ces domaines,
- que les unités du SI doivent être stables sur le long terme, auto cohérentes et réalisables dans la pratique, en étant fondées sur la description théorique actuelle de la nature, au plus haut niveau,
- qu'une révision du SI visant à satisfaire ces exigences a été proposée dans la Résolution 1 adoptée à l'unanimité par la CGPM à sa 24^e réunion (2011), qui expose en détail une nouvelle façon de définir le SI à partir d'un ensemble de sept constantes, choisies parmi les constantes fondamentales de la physique et d'autres constantes de la nature, à partir desquelles les définitions des sept unités de base sont déduites,
- que les conditions requises par la CGPM à sa 24^e réunion (2011), confirmées à sa 25^e réunion (2014), pour procéder à l'adoption d'une telle révision du SI sont désormais remplies,

décide

qu'à compter du 20 mai 2019, le Système international d'unités, le SI, est le système d'unités selon lequel :

- la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé, $\Delta \nu_{\text{Cs}}$, est égale à 9 192 631 770 Hz,
- la vitesse de la lumière dans le vide, c , est égale à 299 792 458 m/s,
- la constante de Planck, h , est égale à $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s,
- la charge élémentaire, e , est égale à $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C,
- la constante de Boltzmann, k , est égale à $1,380\,649 \times 10^{-23}$ J/K,
- la constante d'Avogadro, N_{A} , est égale à $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ mol⁻¹,
- l'efficacité lumineuse d'un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} Hz, K_{cd} , est égale à 683 lm/W,

où 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, $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$, et $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$,

prend acte des conséquences de la révision du SI concernant les unités de base du SI, énoncées dans la Résolution 1 adoptée par la CGPM à sa 24^e réunion (2011), et les confirme dans les annexes de la présente résolution, qui ont même force que la résolution elle-même,

invite le Comité international des poids et mesures (CIPM) à publier une nouvelle édition de la *Brochure sur le SI*, « Le Système international d'unités », contenant une description complète du SI révisé.

Annexe 1. Abrogation des précédentes définitions des unités de base

Il résulte de la nouvelle définition du SI décrite ci-dessus qu'à compter du 20 mai 2019 :

- la définition de la seconde en vigueur depuis 1967/68 (13^e réunion de la CGPM, Résolution 1) est abrogée,
- la définition du mètre en vigueur depuis 1983 (17^e réunion de la CGPM, Résolution 1) est abrogée,
- la définition du kilogramme en vigueur depuis 1889 (1^{ère} réunion de la CGPM, 1889, 3^e réunion de la CGPM, 1901), établie à partir de la masse du prototype international du kilogramme, est abrogée,
- la définition de l'ampère en vigueur depuis 1948 (9^e réunion de la CGPM), établie à partir de la définition proposée par le CIPM (1946, Résolution 2), est abrogée,
- la définition du kelvin en vigueur depuis 1967/68 (13^e réunion de la CGPM, Résolution 4) est abrogée,
- la définition de la mole en vigueur depuis 1971 (14^e réunion de la CGPM, Résolution 3) est abrogée,
- la définition de la candela en vigueur depuis 1979 (16^e réunion de la CGPM, Résolution 3) est abrogée,
- la décision d'adopter les valeurs conventionnelles de la constante de Josephson K_{J-90} et de la constante de von Klitzing R_{K-90} , prise par le 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, est abrogée.

Annexe 2. Statut des constantes utilisées antérieurement dans les anciennes définitions

Il résulte de la nouvelle définition du SI décrite ci-dessus, et des valeurs recommandées dans l'ajustement spécial de 2017 du Committee on Data for Science and Technology (CODATA), sur lesquelles se fondent les valeurs des constantes choisies pour définir le SI, qu'à compter du 20 mai 2019 :

- la masse du prototype international du kilogramme, $m(K)$, est égale à 1 kg avec une incertitude-type relative égale à celle de la valeur recommandée de h au moment de l'adoption de la présente résolution, à savoir $1,0 \times 10^{-8}$; dans le futur, sa valeur sera déterminée de façon expérimentale,
- la perméabilité magnétique du vide, μ_0 , est égale à $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ avec une incertitude-type relative égale à celle de la valeur recommandée de la constante de structure fine α au moment de l'adoption de la présente résolution, à savoir $2,3 \times 10^{-10}$; dans le futur, sa valeur sera déterminée de façon expérimentale,
- la température thermodynamique du point triple de l'eau, T_{TPW} , est égale à 273,16 K avec une incertitude-type relative presque égale à celle de la valeur recommandée de k au moment de l'adoption de la présente résolution, à savoir $3,7 \times 10^{-7}$; dans le futur, sa valeur sera déterminée de façon expérimentale,
- la masse molaire du carbone 12, $M(^{12}\text{C})$, est égale à 0,012 kg mol⁻¹ avec une incertitude-type relative égale à celle de la valeur recommandée de $N_A h$ au moment de l'adoption de la présente résolution, à savoir $4,5 \times 10^{-10}$; dans le futur, sa valeur sera déterminée de façon expérimentale.

Annexe 3. Les unités de base du SI

La nouvelle définition du SI décrite ci-dessus, fondée sur les valeurs numériques fixées des constantes choisies, permet de déduire la définition de chacune des sept unités de base du SI à l'aide d'une ou plusieurs de ces constantes, selon les cas. Les définitions qui en découlent, qui prendront effet à compter du 20 mai 2019, sont les suivantes :

- La seconde, symbole s, est l'unité de temps du SI. Elle est définie en prenant la valeur numérique fixée de la fréquence du césium, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, la fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé, égale à 9 192 631 770 lorsqu'elle est exprimée en Hz, unité égale à s^{-1} .
- Le mètre, symbole m, est l'unité de longueur du SI. Il est défini en prenant la valeur numérique fixée de la vitesse de la lumière dans le vide, c , égale à 299 792 458 lorsqu'elle est exprimée en m/s, la seconde étant définie en fonction de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- Le kilogramme, symbole kg, est l'unité de masse du SI. Il est défini en prenant la valeur numérique fixée de la constante de Planck, h , égale à $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ lorsqu'elle est exprimée en J s, unité égale à $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, le mètre et la seconde étant définis en fonction de c et $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- L'ampère, symbole A, est l'unité de courant électrique du SI. Il est défini en prenant la valeur numérique fixée de la charge élémentaire, e , égale à $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ lorsqu'elle est exprimée en C, unité égale à A s, la seconde étant définie en fonction de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- Le kelvin, symbole K, est l'unité de température thermodynamique du SI. Il est défini en prenant la valeur numérique fixée de la constante de Boltzmann, k , égale à $1,380\,649 \times 10^{-23}$ lorsqu'elle est exprimée en J K^{-1} , unité égale à $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, le kilogramme, le mètre et la seconde étant définis en fonction de h , c et $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- La mole, symbole mol, est l'unité de quantité de matière du SI. Une mole contient exactement $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entités élémentaires. Ce nombre, appelé « nombre d'Avogadro », correspond à la valeur numérique fixée de la constante d'Avogadro, N_A , lorsqu'elle est exprimée en mol^{-1} .

La quantité de matière, symbole n , d'un système est une représentation du nombre d'entités élémentaires spécifiées. Une entité élémentaire peut être un atome, une molécule, un ion, un électron, ou toute autre particule ou groupement spécifié de particules.

- La candela, symbole cd, est l'unité du SI d'intensité lumineuse dans une direction donnée. Elle est définie en prenant la valeur numérique fixée de l'efficacité lumineuse d'un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} Hz, K_{cd} , égale à 683 lorsqu'elle est exprimée en lm W^{-1} , unité égale à cd sr W^{-1} , ou $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, le kilogramme, le mètre et la seconde étant définis en fonction de h , c et $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

27^e CGPM, 2022

■ Sur l'extension de la liste des préfixes du SI (CR, sous presse)

Résolution 3

La Conférence générale des poids et mesures (CGPM), à sa 27^e réunion,

rappelant les décisions prises lors de ses précédentes réunions lorsqu'il a été considéré opportun d'étendre la liste des préfixes du SI, notamment la Résolution 12 (paragraphe 3) adoptée par la CGPM à sa 11^e réunion (1960), la Résolution 8 adoptée par la CGPM à sa 12^e réunion (1964), la Résolution 10 adoptée par la CGPM à sa 15^e réunion (1975), et la Résolution 4 adoptée par la CGPM à sa 19^e réunion (1991),

considérant

- le rôle essentiel que joue le Système international d'unités (SI) afin d'établir la confiance dans l'exactitude et la comparabilité au niveau mondial des mesures nécessaires pour le commerce international, l'industrie, la santé humaine et la sécurité, la protection de l'environnement, les études sur l'évolution du climat, ainsi que la recherche scientifique,

- les avantages à encourager l'utilisation des unités du SI en mettant de nouveaux préfixes du SI à la disposition des communautés scientifiques qui dépendent de mesures qui ne sont pas couvertes par les préfixes existant actuellement,
- les besoins de la science des données, dans un futur proche, afin d'exprimer des quantités d'informations numériques d'un ordre de grandeur supérieur à 10^{24} ,
- l'importance de prendre une mesure en temps opportun afin d'éviter que des noms de préfixe non officiels ne soient adoptés *de facto* par d'autres communautés,

décide d'ajouter à la liste des préfixes du SI pour la formation des noms des multiples et sous-multiples des unités les préfixes suivants :

Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
10^{27}	ronna	R
10^{-27}	ronto	r
10^{30}	quetta	Q
10^{-30}	quecto	q