

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



*Le Système International  
d'Unités  
(SI)*

---

**3<sup>e</sup> Édition**

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France  
Dépositaire : OFFILIB, 48, rue Gay-Lussac, F-75005 Paris

—  
1977

---

# Le Système International d'Unités \*

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVERTISSEMENT .....	3
I. <i>Introduction</i> .....	5
I.1. Historique .....	5
I.2. Les trois classes d'unités SI .....	5
II. <i>Unités SI</i> .....	6
II.1. Unités SI de base .....	6
II.1.1. Définitions .....	6
II.1.2. Symboles .....	9
II.2. Unités SI dérivées .....	9
II.2.1. Expressions .....	9
II.2.2. Recommandations .....	12
II.3. Unités SI supplémentaires .....	12
III. <i>Multiples et sous-multiples décimaux des unités SI</i> .....	13
III.1. Préfixes SI .....	13
III.2. Recommandations .....	14
III.3. Le kilogramme .....	14
IV. <i>Unités en dehors du Système International</i> .....	14
IV.1. Unités en usage avec le Système International .....	14
IV.2. Unités admises temporairement .....	15
IV.3. Unités CGS .....	15
IV.4. Autres unités .....	17
ANNEXE I. — Décisions de la Conférence Générale et du Comité International des Poids et Mesures .....	18
ANNEXE II. — Mise en pratique des définitions des principales unités .....	36
ANNEXE III. — Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre .....	41

---

\* Des traductions complètes ou partielles de cette brochure (ou de ses précédentes éditions) sont publiées en diverses langues, notamment en allemand, anglais, bulgare, espagnol, japonais, portugais, tchèque. De nombreux pays ont aussi publié des guides pour l'emploi des unités SI.

ISBN 92-822-2045-1

AVERTISSEMENT  
DE LA 3<sup>e</sup> ÉDITION

A la suite de nombreuses demandes, le Bureau International des Poids et Mesures publie ce document dans lequel on a tout d'abord rassemblé dans un ordre systématique le contenu des Résolutions et des Recommandations de la Conférence Générale et du Comité International des Poids et Mesures concernant le Système International d'Unités. On y a ajouté des commentaires explicatifs, et des règles d'utilisation pratique extraites des Normes internationales d'usage général adoptées par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO).

Le Comité Consultatif des Unités auprès du Comité International des Poids et Mesures a contribué à la rédaction de ce document. Le texte définitif a été soumis à son contrôle.

Dans l'Annexe I sont reproduites, dans leur ordre chronologique, les décisions (Résolutions, Recommandations, Déclarations, etc.), prises depuis 1889 par la Conférence Générale et le Comité International des Poids et Mesures en rapport avec les unités de mesure et le Système International d'Unités.

Dans l'Annexe II, on décrit sommairement des opérations par lesquelles les grands laboratoires de métrologie peuvent effectuer les mesures physiques en conformité avec le texte de la définition des principales unités, afin d'indiquer comment les définitions théoriques énoncées dans ce document peuvent être mises en pratique pour la certification des étalons de précision.

Cette 3<sup>e</sup> édition est une mise à jour de la 2<sup>e</sup> édition (1973) à la suite des décisions de la 15<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (1975) et des amendements apportés par le Comité Consultatif des Unités lors de ses 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> sessions (1974 et 1976) et par le Comité International des Poids et Mesures à sa session de septembre 1976.

(Janvier 1977)

J. TERRIEN  
*Directeur du Bureau International  
des Poids et Mesures*

J. DE BOER  
*Président du Comité  
Consultatif des Unités*



## I. INTRODUCTION

### I.1. Historique

C'est en 1948 que la 9<sup>e</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), par sa Résolution 6, a chargé le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) :

« d'étudier l'établissement d'une réglementation complète des unités de mesure » ;  
« d'ouvrir à cet effet une enquête officielle sur l'opinion des milieux scientifiques, techniques et pédagogiques de tous les pays » et  
« d'émettre des recommandations 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 ».

Cette même Conférence Générale adopta aussi la Résolution 7 qui fixait des principes généraux pour les symboles d'unités (*voir* II.1.2, p. 9) et qui donnait déjà une liste de noms spéciaux d'unités.

La 10<sup>e</sup> CGPM (1954) par sa Résolution 6 et la 14<sup>e</sup> CGPM (1971) par sa Résolution 3 décidèrent d'adopter, comme unités de base de ce « système pratique d'unités », les unités des sept grandeurs suivantes : longueur, masse, temps, intensité de courant électrique, température thermodynamique, quantité de matière et intensité lumineuse (*voir* II.1, p. 6).

La 11<sup>e</sup> CGPM (1960) par sa Résolution 12 adopta le nom *Système International d'Unités*, avec l'abréviation internationale SI, pour ce système pratique d'unités de mesure et donna des règles pour les préfixes (*voir* III.1, p. 13), les unités dérivées et les unités supplémentaires (*voir* II.2, p. 9 et II.3, p. 12) et d'autres indications, établissant ainsi une réglementation d'ensemble pour les unités de mesure.

Dans le présent document, les dénominations « unités SI », « préfixes SI », « unités supplémentaires » sont employées conformément à la Recommandation 1 (1969) du CIPM.

### I.2. Les trois classes d'unités SI

Dans le Système International on distingue trois classes d'unités SI :

unités de base,  
unités dérivées,  
unités supplémentaires.

Du point de vue scientifique il y a un élément arbitraire dans cette division des unités SI en ces trois classes, parce que cette division n'est pas imposée d'une façon univoque par la physique.

Néanmoins, la Conférence Générale, prenant en considération les avantages de l'adoption d'un système pratique unique, qui pourrait être utilisé dans le monde entier dans les relations internationales, dans l'enseignement et dans la recherche scientifique, décida de baser le Système International sur un choix de sept unités bien définies que l'on convient de considérer comme indépendantes au point de vue dimensionnel: le mètre, le kilogramme, la seconde, l'ampère, le kelvin, la mole et la candela (voir II.1, p. 6). Ces unités SI sont appelées *unités de base*.

La deuxième classe des unités SI contient les *unités dérivées*, c'est-à-dire les unités qui peuvent être formées en combinant les unités de base d'après des relations algébriques choisies qui lient les grandeurs correspondantes. Plusieurs de ces expressions algébriques en fonction des unités de base peuvent être remplacées par des noms et des symboles spéciaux; ceux-ci peuvent être utilisés pour la formation d'autres unités dérivées (voir II.2, p. 9).

Quoiqu'on puisse croire que les unités SI devraient être soit des unités de base, soit des unités dérivées, la 11<sup>e</sup> CGPM (1960) admit une troisième classe d'unités SI, appelées *unités supplémentaires*, pour lesquelles elle n'a pas décidé s'il s'agit d'unités de base ou bien d'unités dérivées (voir II.3, p. 12).

Les unités SI de ces trois classes forment un ensemble cohérent, au sens donné habituellement à « système cohérent d'unités ».

Les multiples et les sous-multiples décimaux des unités SI, qui sont formés au moyen des préfixes SI, doivent être désignés par leur nom complet *multiples et sous-multiples des unités SI*, si l'on veut les distinguer de l'ensemble cohérent des unités SI.

## II. UNITÉS SI

### II.1. Unités SI de base

#### II.1.1. Définitions

a) unité de  
longueur  
(mètre)

La 11<sup>e</sup> CGPM (1960) a remplacé la définition du mètre fondée sur le prototype international en platine iridié, en vigueur depuis 1889 et précisée en 1927, par la définition suivante :

*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 (11<sup>e</sup> CGPM (1960), Résolution 6).*

L'ancien prototype international du mètre qui fut sanctionné par la 1<sup>re</sup> CGPM en 1889 est toujours conservé au Bureau International des Poids et Mesures dans les mêmes conditions que celles qui ont été fixées en 1889.

b) unité de  
masse  
(kilogramme)

Le prototype international du kilogramme fut sanctionné par la 1<sup>re</sup> CGPM (1889) qui déclara que *ce prototype sera considéré désormais comme unité de masse*.

La 3<sup>e</sup> CGPM (1901), dans une déclaration tendant à faire cesser l'ambiguïté qui existait dans l'usage courant sur la signification du terme « poids », confirma que *le kilogramme est l'unité de masse; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme* (voir la déclaration complète p. 19).

Ce prototype international en platine iridié est conservé au Bureau International dans des conditions qui ont été fixées par la 1<sup>re</sup> CGPM en 1889.

**c) unité de temps (seconde)**

Primitivement la seconde, unité de temps, était définie comme la fraction  $1/86\,400$  du jour solaire moyen. La définition exacte du « jour solaire moyen » était laissée aux astronomes, mais leurs travaux ont montré que le jour solaire moyen ne présentait pas les garanties voulues d'exactitude par suite des irrégularités de la rotation de la Terre. Pour donner plus de précision à la définition de l'unité de temps, la 11<sup>e</sup> CGPM (1960) a sanctionné une définition, donnée par l'Union Astronomique Internationale, qui était fondée sur l'année tropique. En même temps les recherches expérimentales avaient déjà montré qu'un étalon atomique d'intervalle de temps, fondé sur une transition entre deux niveaux d'énergie d'un atome ou d'une molécule, pourrait être réalisé et reproduit avec une précision beaucoup plus élevée. Considérant qu'une définition de haute précision de l'unité de temps du Système International, la seconde, est indispensable pour les exigences de la haute métrologie, la 13<sup>e</sup> CGPM (1967) a décidé de remplacer la définition de la seconde par la suivante :

*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 (13<sup>e</sup> CGPM (1967), Résolution 1).*

**d) unité d'intensité de courant électrique (ampère)**

Des unités électriques, dites « internationales », pour l'intensité de courant et pour la résistance, avaient été introduites par le Congrès International d'Électricité, tenu à Chicago en 1893, et les définitions de l'ampère « international » et de l'ohm « international » furent confirmées par la Conférence Internationale de Londres en 1908.

Bien qu'une opinion unanime de remplacer ces unités « internationales » par des unités dites « absolues » fût déjà évidente à l'occasion de la 8<sup>e</sup> CGPM (1933), la décision formelle de supprimer ces unités « internationales » ne fut prise que par la 9<sup>e</sup> CGPM (1948) qui adopta pour l'ampère, unité d'intensité de courant électrique, la définition suivante :

*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  $2 \times 10^{-7}$  newton par mètre de longueur (CIPM (1946), Résolution 2 approuvée par la 9<sup>e</sup> CGPM (1948)).*

L'expression « unité MKS de force » qui figure dans le texte original a été remplacée ici par « newton » adopté par la 9<sup>e</sup> CGPM (1948, Résolution 7).

**e) unité de température thermodynamique (kelvin)**

La définition de l'unité de température thermodynamique a été donnée en fait par la 10<sup>e</sup> CGPM (1954, Résolution 3) qui a choisi le point triple de l'eau comme point fixe fondamental en lui attribuant la température de 273,16 K par définition. La 13<sup>e</sup> CGPM (1967, Résolution 3) adopta le nom *kelvin* (symbole K) au lieu de « degré Kelvin » (symbole °K) et formula dans sa Résolution 4 la définition de l'unité de température thermodynamique comme suit :

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

La 13<sup>e</sup> CGPM (1967, Résolution 3) décida aussi que l'unité kelvin et son symbole K sont utilisés pour exprimer un intervalle ou une différence de température.

*Remarque.* — En dehors de la température thermodynamique (symbole  $T$ ), exprimée en kelvins, on utilise aussi la température Celsius (symbole  $t$ ) définie par l'équation :

$$t = T - T_0$$

où  $T_0 = 273,15$  K par définition. L'unité « degré Celsius » est égale à l'unité « kelvin », mais « degré Celsius » est un nom spécial au lieu de « kelvin » pour exprimer la température Celsius. Un intervalle ou une différence de température Celsius peuvent s'exprimer aussi bien en degrés Celsius qu'en kelvins.

f) unité de  
quantité  
de matière  
(mole)

Depuis la découverte des lois fondamentales de la chimie, on a utilisé, pour spécifier les quantités des divers éléments ou composés chimiques, des unités de quantité de matière qui portèrent par exemple les noms de « atome-gramme » et « molécule-gramme ». Ces unités étaient liées directement aux « poids atomiques » et aux « poids moléculaires » qui étaient en réalité des masses relatives. Les « poids atomiques » furent d'abord rapportés à celui de l'élément chimique oxygène (16 par convention). Mais, tandis que les physiciens séparaient les isotopes au spectrographe de masse et attribuaient la valeur 16 à l'un des isotopes de l'oxygène, les chimistes attribuaient la même valeur au mélange (légèrement variable) des isotopes 16, 17 et 18 qui était pour eux l'élément oxygène naturel. Un accord entre l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (UIPPA) et l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (UICPA) mit fin à cette dualité en 1959-1960. Depuis lors, physiciens et chimistes sont convenus d'attribuer la valeur 12 à l'isotope 12 du carbone. L'échelle unifiée ainsi obtenue donne les valeurs des « masses atomiques relatives ».

Il restait à définir l'unité de quantité de matière en fixant la masse correspondante de carbone 12; par un accord international, cette masse a été fixée à 0,012 kg et l'unité de la grandeur « quantité de matière » <sup>(1)</sup> a reçu le nom de *mole* (symbole mol).

Suivant les propositions de l'UIPPA, de l'UICPA et de l'ISO, le CIPM a donné en 1967 et confirmé en 1969 une définition de la mole qui a été finalement adoptée par la 14<sup>e</sup> CGPM (1971, Résolution 3) :

1<sup>o</sup> 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.

2<sup>o</sup> 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.

Cette définition de la mole précise en même temps la nature de la grandeur dont la mole est l'unité.

---

<sup>(1)</sup> Le nom de cette grandeur, adopté par l'UIPPA, l'UICPA, l'ISO, est en français « quantité de matière » et en anglais « amount of substance »; (les traductions en allemand et en russe sont « Stoffmenge » et « количество вещества »). Le nom français rappelle « quantitas materiae » utilisé dans le passé pour désigner la grandeur appelée aujourd'hui la masse; il faut oublier cette signification ancienne, car la masse et la quantité de matière sont deux grandeurs bien distinctes.

g) unité  
d'intensité lumineuse  
(candela)

Les unités d'intensité lumineuse fondées sur des étalons à flamme ou à filament incandescent, qui étaient en usage dans différents pays, furent remplacées en 1948 par la « bougie nouvelle ». Cette décision, préparée par la Commission Internationale de l'Éclairage et par le Comité International des Poids et Mesures dès avant 1937, fut prise par le Comité International à sa session de 1946, en vertu des pouvoirs que lui avait conférés la 8<sup>e</sup> CGPM en 1933. La 9<sup>e</sup> CGPM (1948) a ratifié la décision du Comité International et elle a adopté un nouveau nom international, la *candela* (symbole cd), pour désigner l'unité d'intensité lumineuse. Le texte de la définition de la candela, amendé en 1967, est le suivant :

*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 (13<sup>e</sup> CGPM (1967), Résolution 5).*

### II.1.2. Symboles

Les unités de base du Système International sont rassemblées dans le tableau 1 avec leurs noms et leurs symboles (10<sup>e</sup> CGPM (1954), Résolution 6; 11<sup>e</sup> CGPM (1960), Résolution 12; 13<sup>e</sup> CGPM (1967), Résolution 3; 14<sup>e</sup> CGPM (1971), Résolution 3).

TABLEAU 1  
Unités SI de base

Grandeur	Nom	Symbole
longueur .....	mètre	m
masse .....	kilogramme	kg
temps .....	seconde	s
intensité de courant électrique .....	ampère	A
température thermodynamique .....	kelvin	K
quantité de matière .....	mole	mol
intensité lumineuse .....	candela	cd

Le principe général concernant l'écriture des symboles d'unités était déjà<sup>b</sup> adopté par la 9<sup>e</sup> CGPM (1948), Résolution 7, selon laquelle :

*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 [pour la première lettre]. Ces symboles ne sont pas suivis d'un point.*

Les symboles des unités restent invariables au pluriel.

## II.2. Unités SI dérivées

### II.2.1. Expressions

A partir des unités de base, les unités dérivées sont données par des expressions algébriques en utilisant les symboles mathématiques de multiplication et de division. Plusieurs de ces unités dérivées ont reçu un nom spécial et un symbole particulier, lesquels peuvent être utilisés à leur tour pour exprimer des unités dérivées d'une façon plus simple qu'à partir des unités de base.

On peut donc classer les unités dérivées dans trois groupes. Quelques-unes de ces unités sont données dans les tableaux 2, 3 et 4.

TABLEAU 2

Exemples d'unités SI dérivées exprimées à partir des unités de base

Grandeur	Unité SI	
	Nom	Symbole
superficie .....	mètre carré	m <sup>2</sup>
volume .....	mètre cube	m <sup>3</sup>
vitesse .....	mètre par seconde	m/s
accélération .....	mètre par seconde carrée	m/s <sup>2</sup>
nombre d'ondes .....	1 par mètre	m <sup>-1</sup>
masse volumique .....	kilogramme par mètre cube	kg/m <sup>3</sup>
densité de courant .....	ampère par mètre carré	A/m <sup>2</sup>
champ magnétique .....	ampère par mètre	A/m
concentration (de quantité de matière) .....	mole par mètre cube	mol/m <sup>3</sup>
volume massique .....	mètre cube par kilogramme	m <sup>3</sup> /kg
luminance lumineuse .....	candela par mètre carré	cd/m <sup>2</sup>

TABLEAU 3

Unités SI dérivées ayant des noms spéciaux

Grandeur	Unité SI			
	Nom	Symbole	Expression en d'autres unités SI	Expression en unités SI de base
fréquence .....	hertz	Hz		s <sup>-1</sup>
force .....	newton	N		m · kg · s <sup>-2</sup>
pression, contrainte ...	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> · kg · s <sup>-2</sup>
énergie, travail, quantité de chaleur .....	joule	J	N · m	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup>
puissance, flux énergétique .....	watt	W	J/s	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup>
quantité d'électricité, charge électrique ...	coulomb	C		s · A
potentiel électrique, tension électrique, force électromotrice .....	volt	V	W/A	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> · A <sup>-1</sup>
capacité électrique ....	farad	F	C/V	m <sup>-2</sup> · kg <sup>-1</sup> · s <sup>4</sup> · A <sup>2</sup>
résistance électrique ...	ohm	Ω	V/A	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-3</sup> · A <sup>-2</sup>
conductance .....	siemens	S	A/V	m <sup>-2</sup> · kg <sup>-1</sup> · s <sup>3</sup> · A <sup>2</sup>
flux d'induction magnétique .....	weber	Wb	V · s	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup>
induction magnétique .	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-1</sup>
inductance .....	henry	H	Wb/A	m <sup>2</sup> · kg · s <sup>-2</sup> · A <sup>-2</sup>
température Celsius <sup>(a)</sup> .	degré Celsius	°C		K
flux lumineux .....	lumen	lm		cd · sr
éclairage lumineux ..	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> · cd · sr } <sup>(b)</sup>
activité (rayonnements ionisants) .....	becquerel	Bq		s <sup>-1</sup>
dose absorbée, énergie communiquée massique, kerma, indice de dose absorbée.....	gray	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> · s <sup>-2</sup>

<sup>(a)</sup> Voir p. 8.<sup>(b)</sup> Dans ces deux expressions, le stéradian (sr) est traité comme une unité de base.

TABLEAU 4

*Exemples d'unités SI dérivées  
que l'on exprime en utilisant des noms spéciaux*

Grandeur	Unité SI		
	Nom	Symbole	Expression en unités SI de base
viscosité dynamique ...	pascal-seconde	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
moment d'une force ...	mètre-newton	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
tension superficielle ...	newton par mètre	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
densité de flux thermique, éclairage énergétique	watt par mètre carré	W/m <sup>2</sup>	$kg \cdot s^{-3}$
capacité thermique, entropie .....	joule par kelvin	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
capacité thermique mas- sique, entropie massi- que .....	joule par kilo- gramme kelvin	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
énergie massique .....	joule par kilo- gramme	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
conductivité thermique.	watt par mètre kelvin	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
énergie volumique ....	joule par mètre cube	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
champ électrique .....	volt par mètre	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
charge (électrique) volu- mique .....	coulomb par mètre cube	C/m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
déplacement électrique .	coulomb par mètre carré	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
permittivité .....	farad par mètre	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
perméabilité .....	henry par mètre	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
énergie molaire .....	joule par mole	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
entropie molaire, capa- cité thermique mo- laire .....	joule par mole kelvin	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
exposition (rayons X et γ) .....	coulomb par kilogramme	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
débit de dose absorbée .	gray par seconde	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$

Bien qu'une unité dérivée puisse s'exprimer de plusieurs façons équivalentes en utilisant des noms d'unités de base et des noms spéciaux d'unités dérivées, le CIPM ne voit pas d'inconvénients à l'emploi de certaines combinaisons ou de certains noms spéciaux afin de faciliter la distinction entre des grandeurs ayant la même dimension. Par exemple, on emploie le hertz pour la fréquence,

plutôt que la seconde à la puissance moins un, et le mètre-newton, plutôt que le joule, pour le moment d'une force.

Dans le domaine des rayonnements ionisants, on emploie de même le becquerel pour l'activité, plutôt que la seconde à la puissance moins un, et le gray pour l'énergie communiquée massique, le kerma, la dose absorbée et l'indice de dose absorbée, plutôt que le joule par kilogramme.

*Remarque.* — Les valeurs de certaines grandeurs, dites sans dimensions, comme par exemple l'indice de réfraction, la perméabilité relative ou la permittivité relative, sont exprimées par des nombres purs. L'unité SI correspondante est, dans ce cas, le rapport de deux unités SI égales et peut être exprimée par le nombre 1.

### II.2.2. *Recommandations*

L'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) a donné des recommandations additionnelles pour uniformiser les modalités d'emploi des unités, en particulier celles du Système International (voir la série des Normes internationales ISO 31 et la Norme internationale ISO 1000 élaborées par le Comité Technique ISO/TC 12 « Grandeurs, unités, symboles, facteurs de conversion et tables de conversion »).

Suivant ces recommandations :

a) Le produit de deux ou plusieurs unités peut être indiqué d'une des manières suivantes,

*par exemple :* N·m, N.m ou Nm

b) Quand une unité dérivée est formée en divisant une unité par une autre, on peut utiliser la barre oblique (/), la barre horizontale ou bien des puissances négatives,

*par exemple :* m/s,  $\frac{m}{s}$  ou  $m \cdot s^{-1}$

c) On ne doit jamais introduire sur la même ligne plus d'une barre oblique, à moins que des parenthèses soient ajoutées, afin d'éviter toute ambiguïté. Dans les cas compliqués, des puissances négatives ou des parenthèses doivent être utilisées,

*par exemple*  $\left\{ \begin{array}{l} m/s^2 \quad \text{ou} \quad m \cdot s^{-2} \\ m \cdot kg/(s^3 \cdot A) \quad \text{ou} \quad m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1} \end{array} \right.$  *mais non pas*  $m/s/s$  ou  $m \cdot kg/s^3/A$

### II.3. Unités SI supplémentaires

Pour quelques unités du Système International, la Conférence Générale n'a pas ou n'a pas encore décidé s'il s'agit d'unités de base ou bien d'unités dérivées. Ces unités SI sont placées dans la troisième classe, dite des « unités supplémentaires », et l'on est libre de les traiter soit comme des unités de base, soit comme des unités dérivées.

Cette classe ne contient actuellement que deux unités purement géométriques : l'unité SI d'angle plan, le *radian*, et l'unité SI d'angle solide, le *stéradian* (11<sup>e</sup> CGPM (1960), Résolution 12).

TABLEAU 5  
*Unités SI supplémentaires*

Grandeur	Unité SI	
	Nom	Symbole
angle plan .....	radian	rad
angle solide .....	stéradian	sr

*Le radian est l'angle plan compris entre deux rayons qui, sur la circonférence d'un cercle, interceptent un arc de longueur égale à celle du rayon.*

*Le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté le rayon de la sphère.*

(Norme internationale ISO 31-1).

Les unités supplémentaires sont utilisées pour obtenir des unités dérivées. Des exemples sont donnés dans le tableau 6.

TABLEAU 6  
*Exemples d'unités SI dérivées  
que l'on exprime en utilisant les unités supplémentaires*

Grandeur	Unité SI	
	Nom	Symbole
vitesse angulaire .....	radian par seconde	rad/s
accélération angulaire .....	radian par seconde carrée	rad/s <sup>2</sup>
intensité énergétique .....	watt par stéradian	W/sr
luminance énergétique .....	watt par mètre carré stéradian	W · m <sup>-2</sup> · sr <sup>-1</sup>

### III. MULTIPLES ET SOUS-MULTIPLES DÉCIMAUX DES UNITÉS SI

#### III.1. Préfixes SI

La 11<sup>e</sup> CGPM (1960, Résolution 12) a adopté une première série de noms et symboles de préfixes pour former les multiples et sous-multiples décimaux des unités SI. Les préfixes pour 10<sup>-15</sup> et 10<sup>-18</sup> furent ajoutés par la 12<sup>e</sup> CGPM (1964, Résolution 8) et ceux pour 10<sup>15</sup> et 10<sup>18</sup> par la 15<sup>e</sup> CGPM (1975, Résolution 10).

TABLEAU 7  
*Préfixes SI*

Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Symbole
10 <sup>18</sup>	exa	E	10 <sup>-1</sup>	déci	d
10 <sup>15</sup>	peta	P	10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>12</sup>	téra	T	10 <sup>-3</sup>	milli	m
10 <sup>9</sup>	giga	G	10 <sup>-6</sup>	micro	μ
10 <sup>6</sup>	méga	M	10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>3</sup>	kilo	k	10 <sup>-12</sup>	pico	p
10 <sup>2</sup>	hecto	h	10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>1</sup>	déca	da	10 <sup>-18</sup>	atto	a

### III.2. Recommandations

L'ISO a recommandé que l'on observe les règles suivantes dans l'emploi des préfixes SI :

a) Les symboles des préfixes sont imprimés en caractères romains (droits), sans espace entre le symbole du préfixe et le symbole de l'unité.

b) Si un symbole contenant un préfixe est affecté d'un exposant, cela indique que le multiple ou le sous-multiple de l'unité est élevé à la puissance exprimée par l'exposant,

$$\begin{aligned} \text{par exemple : } 1 \text{ cm}^3 &= (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 \\ 1 \text{ cm}^{-1} &= (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} \\ 1 \mu\text{s}^{-1} &= (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

c) Les préfixes composés, formés par la juxtaposition de plusieurs préfixes SI, ne sont pas admis.

$$\text{par exemple : } 1 \text{ nm} \text{ mais non pas : } 1 \text{ m}\mu\text{m}$$

### III.3. Le kilogramme

Parmi les unités de base du Système International, l'unité de masse est la seule dont le nom, pour des raisons historiques, contient un préfixe. Les noms des multiples et sous-multiples décimaux de l'unité de masse sont formés par l'adjonction des préfixes au mot « gramme » (CIPM (1967), Recommandation 2).

## IV. UNITÉS EN DEHORS DU SYSTÈME INTERNATIONAL

### IV.1. Unités en usage avec le Système International

Le CIPM (1969) a reconnu que les utilisateurs du SI auront besoin d'employer conjointement certaines unités qui sont en dehors du Système International, mais qui jouent un rôle important et sont largement répandues. Ces unités sont données dans le tableau 8. La combinaison d'unités de ce

TABLEAU 8  
*Unités en usage avec le Système International*

Nom	Symbole	Valeur en unité SI
minute .....	min	1 min = 60 s
heure <sup>(a)</sup> .....	h	1 h = 60 min = 3 600 s
jour .....	d	1 d = 24 h = 86 400 s
degré .....	°	1° = (π/180) rad
minute .....	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
seconde .....	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
litre <sup>(b)</sup> .....	l	1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
tonne <sup>(b)</sup> .....	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg

<sup>(a)</sup> Le symbole de cette unité est inclus dans la Résolution 7 de la 9<sup>e</sup> CGPM (1948).

<sup>(b)</sup> Cette unité et son symbole ont été adoptés par le Comité International en 1879 (*Procès-Verbaux CIPM*, 1879, p. 41).

Pour le symbole du litre, lorsqu'il existe un risque de confusion entre la lettre l et le chiffre 1, on peut utiliser l'abréviation « ltr. » ou écrire « litre » en toutes lettres (CIPM, 1976). La définition actuelle du litre est dans la Résolution 6 de la 12<sup>e</sup> CGPM (1964).

tableau avec des unités SI pour former des unités composées ne doit être pratiquée que dans des cas limités afin de ne pas perdre les avantages de la cohérence des unités SI.

De même, il est nécessaire d'admettre quelques autres unités en dehors du Système International, dont l'emploi est utile dans des domaines spécialisés, parce que leur valeur exprimée en unités SI doit être obtenue expérimentalement et n'est donc pas connue exactement (tableau 9).

TABLEAU 9

*Unités en usage avec le Système International,  
dont la valeur en unités SI est obtenue expérimentalement*

Nom	Symbole	Définition
électronvolt .....	eV	<sup>(a)</sup>
unité de masse atomique (unifiée) ....	u	<sup>(b)</sup>
unité astronomique .....	<sup>(c)</sup>	<sup>(c)</sup>
parsec .....	pc	<sup>(d)</sup>

<sup>(a)</sup> 1 électronvolt est l'énergie cinétique acquise par un électron en traversant une différence de potentiel de 1 volt dans le vide;  $1 \text{ eV} = 1,602 19 \times 10^{-19} \text{ J}$  approximativement.

<sup>(b)</sup> L'unité de masse atomique (unifiée) est égale à la fraction 1/12 de la masse d'un atome du nucléide  $^{12}\text{C}$ ;  $1 \text{ u} = 1,660 57 \times 10^{-27} \text{ kg}$  approximativement.

<sup>(c)</sup> Cette unité n'a pas de symbole international; on emploie des abréviations, par exemple UA en français, AU en anglais, AE en allemand, a.e.a. en russe, etc. L'unité astronomique de distance est la longueur du rayon de l'orbite circulaire non perturbée d'un corps de masse négligeable en mouvement autour du Soleil avec une vitesse angulaire sidérale de 0,017 202 098 950 radian par jour de 86 400 secondes des éphémérides. Dans le Système de constantes astronomiques de l'Union Astronomique Internationale (1976), la valeur adoptée est:  $1 \text{ UA} = 149 597,870 \times 10^6 \text{ m}$ .

<sup>(d)</sup> 1 parsec est la distance à laquelle 1 unité astronomique sous-tend un angle de 1 seconde d'arc; donc, approximativement,  $1 \text{ pc} = 206 265 \text{ UA} = 30 857 \times 10^{12} \text{ m}$ .

#### IV.2. Unités admises temporairement

Le CIPM (1969) a estimé préférable de maintenir temporairement les unités contenues dans le tableau 10, pour qu'elles soient employées conjointement avec les unités du Système International, mais seulement en raison de la force des usages existants.

#### IV.3. Unités CGS

Le CIPM estime qu'il est en général préférable de ne pas utiliser conjointement avec les unités du Système International les unités du système CGS ayant reçu un nom spécial <sup>(2)</sup>. De telles unités sont mentionnées dans le tableau 11.

<sup>(2)</sup> Le Système International d'Unités, et les recommandations contenues dans ce document, ont pour objet une meilleure uniformité, donc une meilleure compréhension mutuelle dans l'usage général. Cependant, dans quelques domaines spécialisés de la recherche scientifique, en particulier en physique théorique, il peut exister parfois des motifs sérieux justifiant l'emploi d'autres systèmes ou d'autres unités.

Quelles que soient ces unités, il est important que les *symboles* employés pour les représenter soient conformes aux recommandations internationales en vigueur.

TABLEAU 10

*Unités à maintenir temporairement  
avec le Système International*

Nom	Symbole	Valeur en unité SI
mille marin <sup>(a)</sup> .....		1 mille marin = 1 852 m
nœud .....		1 mille marin par heure = (1 852/3 600) m/s
ångström .....	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 <sup>-10</sup> m
are <sup>(b)</sup> .....	a	1 a = 1 dam <sup>2</sup> = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
hectare <sup>(b)</sup> .....	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
barn <sup>(c)</sup> .....	b	1 b = 100 fm <sup>2</sup> = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
bar <sup>(d)</sup> .....	bar	1 bar = 0,1 MPa = 10 <sup>5</sup> Pa
atmosphère normale <sup>(e)</sup> ..	atm	1 atm = 101 325 Pa
gal <sup>(f)</sup> .....	Gal	1 Gal = 1 cm/s <sup>2</sup> = 10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>
curie <sup>(g)</sup> .....	Ci	1 Ci = 3,7 × 10 <sup>10</sup> Bq
röntgen <sup>(h)</sup> .....	R	1 R = 2,58 × 10 <sup>-4</sup> C/kg
rad <sup>(i)</sup> .....	rad	1 rad = 1 cGy = 10 <sup>-2</sup> Gy

<sup>(a)</sup> Le mille marin est une unité spéciale employée en navigation maritime et aérienne pour exprimer les distances. Cette valeur conventionnelle fut adoptée par la Première Conférence Hydrographique Internationale Extraordinaire, Monaco, 1929, sous le nom de « mille marin international ».

<sup>(b)</sup> Cette unité et son symbole ont été adoptés par le Comité International en 1879 (*Procès-Verbaux CIPM*, 1879, p. 41).

<sup>(c)</sup> Le barn est une unité spéciale employée en physique nucléaire pour exprimer les sections efficaces.

<sup>(d)</sup> Cette unité et son symbole sont inclus dans la Résolution 7 de la 9<sup>e</sup> CGPM (1948).

<sup>(e)</sup> Résolution 4 de la 10<sup>e</sup> CGPM (1954).

<sup>(f)</sup> Le gal est une unité spéciale employée en géodésie et en géophysique pour exprimer l'accélération due à la pesanteur.

<sup>(g)</sup> Le curie est une unité spéciale employée en physique nucléaire pour exprimer l'activité des radionucléides (12<sup>e</sup> CGPM (1964), Résolution 7).

<sup>(h)</sup> Le röntgen est une unité spéciale employée pour exprimer l'exposition des rayonnements X ou γ.

<sup>(i)</sup> Le rad est une unité spéciale employée pour exprimer la dose absorbée de rayonnements ionisants. Lorsque le mot rad peut entraîner une confusion avec le symbole du radian, on peut utiliser rd comme symbole du rad.

TABLEAU 11

*Unités CGS ayant des noms spéciaux*

Nom	Symbole	Valeur en unité SI
erg <sup>(a)</sup> .....	erg	1 erg = 10 <sup>-7</sup> J
dyne <sup>(a)</sup> .....	dyn	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
poise <sup>(a)</sup> .....	P	1 P = 1 dyn·s/cm <sup>2</sup> = 0,1 Pa·s
stokes .....	St	1 St = 1 cm <sup>2</sup> /s = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
gauss <sup>(b)</sup> .....	Gs, G	1 Gs correspond à 10 <sup>-4</sup> T
œrsted <sup>(b)</sup> .....	Oe	1 Oe correspond à (1 000/4 π) A/m
maxwell <sup>(b)</sup> .....	Mx	1 Mx correspond à 10 <sup>-8</sup> Wb
stilb <sup>(a)</sup> .....	sb	1 sb = 1 cd/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
phot .....	ph	1 ph = 10 <sup>4</sup> lx

<sup>(a)</sup> Cette unité et son symbole étaient inclus dans la Résolution 7 de la 9<sup>e</sup> CGPM (1948).

<sup>(b)</sup> Cette unité fait partie du Système CGS dit « électromagnétique » à trois dimensions et ne peut pas être comparée strictement à l'unité correspondante du Système International qui est à quatre dimensions lorsqu'on se limite aux grandeurs électriques.

#### IV.4. Autres unités

En ce qui concerne les unités qui sont en dehors du Système International et qui ne sont pas considérées dans les sections IV.1, 2 et 3, le CIPM estime qu'il est en général préférable de les éviter et de les remplacer par des unités du Système International. Quelques-unes de ces unités sont mentionnées dans le tableau 12.

TABLEAU 12  
*Autres unités généralement déconseillées*

Nom	Valeur en unité SI
fermi .....	1 fermi = 1 fm = $10^{-15}$ m
carat métrique <sup>(a)</sup> .....	1 carat métrique = 200 mg = $2 \times 10^{-4}$ kg
torr .....	1 torr = (101 325/760) Pa
kilogramme-force (kgf) .....	1 kgf = 9,806 65 N
calorie (cal) .....	1 cal = 4,186 8 J <sup>(b)</sup>
micron ( $\mu$ ) <sup>(c)</sup> .....	1 $\mu$ = 1 $\mu$ m = $10^{-6}$ m
unité X <sup>(d)</sup>	
stère (st) <sup>(e)</sup> .....	1 st = 1 m <sup>3</sup>
gamma ( $\gamma$ ) .....	1 $\gamma$ = 1 nT = $10^{-9}$ T
$\gamma$ <sup>(f)</sup> .....	1 $\gamma$ = 1 $\mu$ g = $10^{-9}$ kg
$\lambda$ <sup>(g)</sup> .....	1 $\lambda$ = 1 $\mu$ l = $10^{-6}$ l = $10^{-9}$ m <sup>3</sup>

<sup>(a)</sup> Cette appellation a été adoptée par la 4<sup>e</sup> CGPM (1907, pp. 89-91) pour le commerce des diamants, perles fines et pierres précieuses.

<sup>(b)</sup> Cette valeur est celle de la calorie dite « IT » (5th International Conference on Properties of Steam, Londres, 1956).

<sup>(c)</sup> Ce nom d'unité et son symbole, qui avaient été adoptés par le Comité International en 1879 (*Procès-Verbaux CIPM*, 1879, p. 41) et repris dans la Résolution 7 de la 9<sup>e</sup> CGPM (1948), ont été supprimés par la 13<sup>e</sup> CGPM (1967, Résolution 7).

<sup>(d)</sup> Cette unité spéciale fut employée pour exprimer les longueurs d'onde des rayons X; 1 unité X =  $1,002 \times 10^{-4}$  nm approximativement.

<sup>(e)</sup> Cette unité spéciale, employée dans le mesurage du bois de chauffage, a été adoptée par le Comité International en 1879 avec le symbole « s » (*Procès-Verbaux CIPM*, 1879, p. 41). La 9<sup>e</sup> CGPM (1948, Résolution 7) a changé ce symbole en « st ».

<sup>(f)</sup> Ce symbole est mentionné dans les *Procès-Verbaux du CIPM*, 1880, p. 56.

<sup>(g)</sup> Ce symbole est mentionné dans les *Procès-Verbaux du CIPM*, 1880, p. 30.

## ANNEXE I

### Décisions de la Conférence Générale et du Comité International des Poids et Mesures

(Les principales décisions abrogées, modifiées ou complétées au cours des années sont signalées par un astérisque \*.)

C.R. : *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM).  
P.V. : *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures* (CIPM).

#### 1<sup>re</sup> CGPM, 1889

mètre  
kilogramme

— *Sanction des prototypes internationaux du mètre et du kilogramme* (C.R., pp. 34-38)

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 0,000 1 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 :

.....

\* Définition abrogée en 1960 (voir page 25 : 11<sup>e</sup> CGPM, Résolution 6).

### 3<sup>e</sup> CGPM, 1901

**litre** — *Déclaration concernant la définition du litre* (C.R., p. 38)

.....

*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° .....

\* Définition abrogée en 1964 (voir page 29 : 12<sup>e</sup> CGPM, Résolution 6).

**masse et poids**  
 **$g_n$**  — *Déclaration relative à l'unité de masse et à la définition du poids; valeur conventionnelle de  $g_n$*  (C.R., p. 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 <sup>(1)</sup>;

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 cm/s<sup>2</sup>, nombre sanctionné déjà par quelques législations. » <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> « La masse du Kilogramme international est prise comme unité pour le Service international des Poids et Mesures » (P.V., 1887, p. 88).

<sup>(2)</sup> *Note du BIPM.* Cette « valeur normale » conventionnelle de référence ( $g_n = 9,806\ 65\ \text{m/s}^2$ ) à utiliser pour la réduction à la pesanteur normale des observations exécutées en un lieu donné de la Terre a été confirmée à nouveau en 1913 par la 5<sup>e</sup> CGPM (C.R., p. 44).

### 7<sup>e</sup> CGPM, 1927

**mètre** — *Définition du mètre par le Prototype international* (C.R., p. 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 (voir page 25 : 11<sup>e</sup> CGPM, Résolution 6).

### CIPM, 1946

**unités  
photométriques**

— *Définitions des unités photométriques* (P.V., 20, p. 119)

#### RÉSOLUTION (3)

.....  
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. ....

\* Définition modifiée en 1967 (voir page 31 : 13<sup>e</sup> CGPM, Résolution 5).

**unités  
mécaniques  
et électriques**

— *Définitions des unités électriques* (P.V., 20, p. 131)

#### RÉSOLUTION 2 (4)

.....  
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 \*.

\* Le nom « newton » a été adopté en 1948 pour l'unité MKS de force (voir note (4)).

(3) Les deux définitions contenues dans cette Résolution ont été ratifiées par la 9<sup>e</sup> CGPM (1948) qui a en outre approuvé le nom de *candela* donné à la « bougie nouvelle » (C.R., p. 54). Pour le lumen, le qualificatif « nouveau » a été abandonné par la suite.

(4) Les définitions contenues dans cette Résolution 2 ont été approuvées par la 9<sup>e</sup> CGPM (1948) (C.R., p. 49), qui a en outre adopté le nom *newton* (Résolution 7).

*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  $2 \times 10^{-7}$  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.

### 9<sup>e</sup> CGPM, 1948

échelle  
thermodynamique  
unité de  
quantité de chaleur

— *Point triple de l'eau; échelle thermodynamique à un seul point fixe; unité de quantité de chaleur (joule)* (C.R., p. 55 et p. 63)

#### RÉSOLUTION 3 <sup>(5)</sup>

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

<sup>(5)</sup> Les trois propositions contenues dans cette Résolution 3 ont été adoptées par la Conférence Générale.

comme étant la température inférieure de 0,010 0 degré à celle du point triple de l'eau pure.

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.

*Remarque.* — 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.

**degré Celsius** — *Adoption de « degré Celsius »*

Entre les trois termes (« degré centigrade », « degré centésimal », « degré Celsius ») proposés pour désigner le degré de température, le CIPM a choisi « degré Celsius » (P.V., 21, 1948, p. 88).

Ce terme est également adopté par la Conférence Générale (C.R., p. 64).

**système pratique d'unités de mesure** — *Proposition d'établissement d'un système pratique d'unités de mesure* (C.R., p. 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.

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.

Unités	Symboles	Unités	Symboles
·mètre .....	m	ampère .....	A
·mètre carré .....	m <sup>2</sup>	volt .....	V
·mètre cube .....	m <sup>3</sup>	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		

\* Unité et symbole supprimés en 1967 (voir page 32 : 13<sup>e</sup> CGPM, Résolution 7).

\*\* Nom et symbole changés en 1967 (voir page 30 : 13<sup>e</sup> CGPM, Résolution 3).

*Remarques*

I. Les symboles dont les unités sont précédées d'un point sont ceux qui avaient déjà été antérieurement adoptés par une décision du Comité International.

II. 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.

III. 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 »\*.

\* Voir page 30 la Résolution 3 de la 13<sup>e</sup> CGPM, 1967.

**10<sup>e</sup> CGPM, 1954**

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\*.

\* Voir page 31 la Résolution 4 de la 13<sup>e</sup> CGPM, 1967.

**atmosphère normale** — *Définition de l'atmosphère normale* (C.R., p. 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** — *Système pratique d'unités* (C.R., p. 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

\* Nom changé en « kelvin » en 1967 (voir page 30 : 13<sup>e</sup> CGPM, Résolution 3).

**CIPM, 1956**

**seconde** — *Définition de l'unité de temps* (P.V., 25, p. 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<sup>o</sup> 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<sup>o</sup> 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  $\frac{12\ 960\ 276\ 813}{408\ 986\ 496} \times 10^{-9}$  de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 h T.E.,

*décide*

« La seconde est la fraction  $1/31\,556\,925,974\,7$  de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 heures de temps des éphémérides » \*.

\* Définition abrogée en 1967 (voir page 30 : 13<sup>e</sup> CGPM, Résolution 1).

**SI** — *Système International d'Unités* (P.V., 25, p. 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<sup>o</sup> 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<sup>e</sup> CGPM (1960)].

2<sup>o</sup> 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<sup>o</sup> de la Résolution 12 de la 11<sup>e</sup> CGPM (1960)].

### 11<sup>e</sup> CGPM, 1960

**mètre** — *Définition du mètre* (C.R., p. 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<sup>o</sup> 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<sup>o</sup> La définition du mètre en vigueur depuis 1889, fondée sur le Prototype international en platine iridié, est abrogée.

3<sup>o</sup> Le Prototype international du mètre sanctionné par la Première Confé-

rence 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.

RÉSOLUTION 7

La Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures,  
*invite* le Comité International

1° à établir des instructions pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre <sup>(6)</sup>;

2° à choisir des étalons secondaires de longueur d'onde pour la mesure interférentielle des longueurs et à établir des instructions pour leur emploi;

3° à poursuivre les études entreprises en vue d'améliorer les étalons de longueur.

**seconde** — *Définition de l'unité de temps* (C.R., p. 86)

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  $1/31\,556\,925,974\,7$  de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 heures de temps des éphémérides » \*.

\* Définition abrogée en 1967 (voir page 30 : 13<sup>e</sup> CGPM, Résolution 1).

**SI** — *Système International d'Unités* (C.R., p. 87)

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

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

<sup>(6)</sup> Voir à l'Annexe II, p. 36, la Recommandation adoptée par le CIPM à ce sujet.

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 \*\*\* :

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

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

UNITÉS DÉRIVÉES \*\*\*\*

superficie .....	mètre carré	m <sup>2</sup>	
volume .....	mètre cube	m <sup>3</sup>	
fréquence .....	hertz	Hz	1/s
masse volumique (densité) .....	kilogramme par mètre cube	kg/m <sup>3</sup>	
vitesse .....	mètre par seconde	m/s	
vitesse angulaire .....	radian par seconde	rad/s	
accélération .....	mètre par seconde carrée	m/s <sup>2</sup>	
accélération angulaire .....	radian par seconde carrée	rad/s <sup>2</sup>	
force .....	newton	N	kg · m/s <sup>2</sup>
pression (tension mécanique) .....	newton par mètre carré	N/m <sup>2</sup>	
viscosité cinématique .....	mètre carré par seconde	m <sup>2</sup> /s	
viscosité dynamique .....	newton-seconde par mètre carré	N · s/m <sup>2</sup>	
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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>	
éclairage .....	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>

\* Nom et symbole de l'unité modifiés en 1967 (voir page 30 : 13<sup>e</sup> CGPM, Résolution 3).

\*\* Une septième unité de base, la mole, a été adoptée en 1971 par la 14<sup>e</sup> CGPM (Résolution 3, voir page 34).

\*\*\* Voir pages 29 et 35 les quatre nouveaux préfixes adoptés par les 12<sup>e</sup> CGPM (1964), Résolution 8 et 15<sup>e</sup> CGPM (1975), Résolution 10.

\*\*\*\* Voir page 31 les autres unités ajoutées par la 13<sup>e</sup> CGPM (1967), Résolution 6.

décimètre cube  
et litre

— *Décimètre cube et litre* (C.R., p. 88)

RÉSOLUTION 13

La Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considérant*

que le décimètre cube et le litre sont inégaux et différent 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* (P.V., 29, p. 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.

**12<sup>e</sup> CGPM, 1964**

étalon  
de fréquence

— *Étalon atomique de fréquence* (C.R., p. 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.

DÉCLARATION DU CIPM (1964) (P.V., 32, p. 26 et C.R., p. 93)

Le Comité International des Poids et Mesures,

*habilité* 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.

**litre** — *Litre* (C.R., p. 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** — *Curie* (C.R., p. 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.

\* En 1975, le nom « becquerel » (Bq) a été adopté pour l'unité SI d'activité (voir page 35 : 15° CGPM, Résolution 8);  $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ .

**femto**  
**atto** — *Préfixes SI femto et atto* (C.R., p. 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

13<sup>e</sup> CGPM, 1967-1968

seconde — Unité de temps du SI (seconde) (C.R., p. 103)

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 Générale (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.

kelvin  
(degré Celsius)

— Unité SI de température thermodynamique (kelvin) (C.R., p. 104)

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 (*Procès-Verbaux*, 30, p. 27) (?),

(?) « 1° L'unité degré Kelvin (symbole °K) peut être employée aussi bien pour une différence de deux températures thermodynamiques que pour la température thermodynamique elle-même.

« 2° Si l'on juge nécessaire de supprimer l'indication du nom Kelvin, il est recommandé d'employer le symbole international « deg » pour l'unité de différence de température. (Le symbole « deg » est lu, par exemple : « degré » en français, « degree » en anglais, « gradous » (градус) en russe, « Grad » en allemand, « graad » en hollandais) ».

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,

*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.

#### RÉSOLUTION 4

**kelvin** 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 ».

**candela** — *Unité SI d'intensité lumineuse (candela)* (C.R., p. 104)

#### 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 (*Procès-Verbaux*, 20, p. 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. »

**unités SI dérivées** — *Unités SI dérivées* (C.R., p. 105)

#### 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),

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	$s^{-1}$ *

\* Nom et symbole de l'unité changés en 1975 (voir page 35 : 15<sup>e</sup> CGPM, Résolution 8).

**micron ( $\mu$ )  
bougie nouvelle**

— *Abrogation de décisions antérieures (micron, bougie nouvelle) (C.R., p. 105)*

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 «  $\mu$  » qui fut attribué à cette unité et qui est devenu un préfixe;

2° le nom d'unité « bougie nouvelle ».

CIPM, 1967

**multiples  
du kilogramme**

— *Multiples et sous-multiples décimaux de l'unité de masse (P.V., 35, p. 29)*

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 ».

CIPM, 1969

**SI** — *Système International d'Unités : modalités d'application de la Résolution 12 de la 11<sup>e</sup> CGPM (1960) (P.V., 37, p. 30)*

RECOMMANDATION 1 (1969)

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.

#### 14<sup>e</sup> CGPM, 1971

**pascal  
siemens**

— *Pascal; siemens*

La 14<sup>e</sup> CGPM 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).

**TAI** — *Temps Atomique International; rôle du CIPM (C.R., p. 77)*

#### 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 <sup>(8)</sup>;

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.

**mole** — *Unité SI de quantité de matière (mole)* (C.R., p. 78)

### 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.

### 15<sup>e</sup> CGPM, 1975

**UTC** — *Temps Universel Coordonné* (C.R., p. 104)

### 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.

---

<sup>(8)</sup> En prévision de cette demande, le Comité International des Poids et Mesures avait chargé son Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde de préparer une définition du Temps Atomique International. Cette définition, approuvée par le Comité International à sa 59<sup>e</sup> session (octobre 1970), est la suivante :

« *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.* »

**becquerel** — *Unités SI pour les rayonnements ionisants* (C.R., p. 105)  
**gray**

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 <sup>(1)</sup>.

} Résolution 9

<sup>(1)</sup> *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.

**peta** — *Préfixes SI peta et exa* (C.R., p. 106)  
**exa**

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<sup>o</sup>, les deux préfixes suivants :

Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
10 <sup>15</sup>	peta	P
10 <sup>18</sup>	exa	E

---

## ANNEXE II

### Mise en pratique des définitions des principales unités

#### 1. Longueur

Le CIPM a adopté en 1960 la Recommandation suivante qui spécifie les caractéristiques de la lampe à décharge produisant la radiation étalon du krypton 86 :

Conformément au paragraphe 1 de la Résolution 7 adoptée par la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures (octobre 1960), le Comité International des Poids et Mesures recommande que la radiation du krypton 86 adoptée comme étalon fondamental de longueur soit réalisée au moyen d'une lampe à décharge à cathode chaude contenant du krypton 86 d'une pureté non inférieure à 99 pour cent, en quantité suffisante pour assurer la présence de krypton solide à la température de 64 °K, cette lampe étant munie d'un capillaire ayant les caractéristiques suivantes : diamètre intérieur 2 à 4 millimètres, épaisseur des parois 1 millimètre environ.

On estime que la longueur d'onde de la radiation émise par la colonne positive est égale, à 1 cent-millionième ( $10^{-8}$ ) près, à la longueur d'onde correspondant à la transition entre les niveaux non perturbés, lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

1° le capillaire est observé en bout de façon que les rayons lumineux utilisés cheminent du côté cathodique vers le côté anodique;

2° la partie inférieure de la lampe, y compris le capillaire, est immergée dans un bain réfrigérant maintenu à la température du point triple de l'azote, à 1 degré près;

3° la densité du courant dans le capillaire est  $0,3 \pm 0,1$  ampère par centimètre carré.

(*Procès-Verbaux CIPM*, 28, 1960, p. 71; *Comptes rendus 11<sup>e</sup> CGPM*, 1960, p. 85)

L'appareillage annexe nécessaire comprend : les sources stabilisées de courant pour l'alimentation électrique de la lampe, un cryostat étanche, un thermomètre utilisable au voisinage de 63 K, une pompe à vide, un monochromateur (pour isoler la radiation) ou des filtres interférentiels spéciaux.

D'autres radiations du krypton 86 et plusieurs radiations du mercure 198 et du cadmium 114 sont recommandées comme étalons secondaires (*Procès-Verbaux CIPM*, 31, 1963, Recommandation 1, p. 26 et *Comptes rendus 12<sup>e</sup> CGPM*, 1964, p. 18).

Deux radiations monochromatiques, l'une dans la région visible, l'autre dans la région infrarouge du spectre, produites par des lasers à hélium-néon asservis sur une raie d'absorption saturée de l'iode ou du méthane, sont recommandées comme étalons de longueur d'onde avec les valeurs suivantes (*Procès-Verbaux CIPM*, 41, 1973, p. 112).

Raie	Longueur d'onde dans le vide
Méthane, P(7), bande $\nu_3$	$3\,392\,231,40 \times 10^{-12}$ m
Iode 127, R(127), bande 11-5 composante i	$632\,991,399 \times 10^{-12}$ m

Ces radiations sont reproductibles avec une incertitude de l'ordre de  $10^{-10}$  en valeur relative; la valeur en mètre de leur longueur d'onde a une incertitude imposée par l'indétermination de l'étalon (la longueur d'onde de la radiation du  $^{86}\text{Kr}$ ) estimée à  $\pm 4 \times 10^{-9}$ . En mesurant la fréquence des battements entre des radiations voisines (diverses composantes du multiplet hyperfin de l'iode par exemple), on obtient une valeur très précise des différences de longueur d'onde.

La longueur d'onde de toutes ces radiations varie avec la pression, la température et la composition de l'air dans lequel elles se propagent; il est donc nécessaire en général de mesurer sur place l'indice de réfraction de l'air.

Pour mesurer des étalons à bouts ou à traits on utilise ces radiations dans un comparateur interférentiel, instrument complexe comprenant une partie mécanique, une partie d'optique interférentielle et une partie thermométrique.

La longueur d'onde de la raie du méthane citée plus haut, multipliée par sa fréquence (mesurée par comparaison à celle de la transition du  $^{133}\text{Cs}$  de la définition de la seconde) conduit à la valeur de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide  $c = 299\,792\,458$  m/s, recommandée par la 15<sup>e</sup> CGPM (Résolution 2). On peut penser que cette valeur de  $c$  sera maintenue inchangée à l'avenir.

## 2. Masse

L'étalon primaire de l'unité de masse est le prototype international du kilogramme confié au Bureau International des Poids et Mesures. La masse d'étalons secondaires de 1 kg, en platine iridié ou en acier inoxydable, est comparée à la masse du prototype au moyen de balances dont la précision peut atteindre ou dépasser  $10^{-8}$ .

L'étalonnage d'une série de masses est une opération facile qui permet de passer aux multiples et sous-multiples du kilogramme.

## 3. Temps

Quelques laboratoires spécialisés construisent eux-mêmes l'appareillage nécessaire pour produire des oscillations électriques à la fréquence de vibration de l'atome de césium 133 qui définit la seconde. Cet appareillage comprend entre autres : un oscillateur à quartz, des multiplicateurs et synthétiseurs de fréquence, un klystron, des détecteurs de phase, un appareil à jet atomique de césium dans le vide avec des cavités résonnantes, des champs magnétiques homogènes et inhomogènes et un détecteur d'ions.

Des ensembles complets produisant cette fréquence sont disponibles commercialement.

Par démultiplication de fréquence, on obtient des impulsions à la fréquence voulue, par exemple 1 Hz, 1 kHz, etc.

La stabilité et l'exactitude correspondent, dans le cas des appareils les mieux étudiés, à une incertitude de  $10^{-12}$  et même  $10^{-13}$  en valeur relative.

Des émissions hertziennes diffusent des ondes entretenues dont la fréquence est connue avec une précision du même ordre.

Il existe des étalons de fréquence autres que l'étalon à césium, par exemple le maser à hydrogène, l'horloge à rubidium, les étalons de fréquence et horloges à quartz, etc. Leur fréquence est contrôlée par comparaison à un étalon à césium, soit directement, soit par l'intermédiaire des émissions hertziennes.

La plupart des signaux horaires diffusés par voie hertzienne sont donnés dans une échelle de temps appelée Temps Universel Coordonné (UTC) dont l'emploi a été recommandé en 1975 par la 15<sup>e</sup> CGPM (Résolution 5). UTC est

défini de telle façon qu'il diffère du Temps Atomique International (TAI) <sup>(1)</sup> d'un nombre entier exact de secondes. La différence UTC — TAI a été fixée égale à — 10 s le 1<sup>er</sup> janvier 1972, date de mise en application de la réforme de UTC qui comportait auparavant un décalage de fréquence; cette différence peut être modifiée de 1 seconde par l'emploi d'une *seconde intercalaire* (« leap second ») positive ou négative à la fin d'un mois de UTC, de préférence en premier lieu à la fin de décembre et de juin et en second lieu à la fin de mars et de septembre, afin que UTC reste en accord avec le temps défini par la rotation de la Terre avec une approximation meilleure que 0,9 s <sup>(2)</sup>. De plus, les temps légaux de la plupart des pays sont décalés d'un nombre entier d'heures (fuseaux horaires et heure dite d'été).

#### 4. Grandeurs électriques

Les mesures électriques dites « absolues », c'est-à-dire par référence à la définition de l'unité, sont réservées à des laboratoires exceptionnellement spécialisés.

L'intensité d'un courant électrique est obtenue en ampères par la mesure de la force entre deux enroulements conducteurs, de forme et de dimensions mesurées, parcourus par le courant à mesurer.

L'ohm, le farad et le henry étant reliés avec précision par des comparaisons d'impédance à une fréquence connue, ces unités sont déterminées en valeur absolue à partir de la valeur calculée 1) de l'inductance propre d'une bobine, ou de l'inductance mutuelle de deux bobines, en fonction de leurs caractéristiques géométriques, ou 2) de la variation de la capacité électrique d'un condensateur en fonction de la variation de longueur de ses armatures (méthode de Thompson-Lampard).

Le volt se déduit de l'ampère et de l'ohm.

L'incertitude sur la détermination absolue du farad est de quelques  $10^{-8}$ ; elle est de quelques  $10^{-6}$  sur la détermination absolue de l'ampère.

Les résultats des mesures absolues sont conservés au moyen d'étalons secondaires qui sont par exemple :

- 1° des bobines en fil de manganine (étalons de résistance);
- 2° des éléments galvaniques au sulfate de cadmium (étalons de force électromotrice);
- 3° des condensateurs (étalons de capacité électrique, de 10 pF par exemple).

L'application de techniques récentes offre en outre la possibilité de contrôler la permanence des étalons secondaires qui conservent les unités électriques : mesure du coefficient gyromagnétique du proton  $\gamma'_p$  pour l'ampère et mesure du rapport  $h/e$  par l'effet Josephson pour le volt.

#### 5. Température

Les mesures absolues de température, conformes à la définition de l'unité de température thermodynamique, le kelvin, font appel à la thermodynamique, par exemple au thermomètre à gaz.

La précision optimale est de l'ordre de  $10^{-6}$  à 273,16 K; elle décroît aux températures plus hautes et plus basses.

L'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968, édition amendée de 1975, adoptée par la 15<sup>e</sup> CGPM, est en accord avec les résultats thermodyna-

<sup>(1)</sup> Voir à l'Annexe I, p. 34, la définition du TAI donnée par le CIPM conformément à la demande de la 14<sup>e</sup> CGPM (1971, Résolution 1).

<sup>(2)</sup> La différence UTC — TAI est devenue égale à — 16 s le 1<sup>er</sup> janvier 1977.

miques les meilleurs connus à ce moment. Le texte de cette Échelle est publié dans *Comité Consultatif de Thermométrie*, 10<sup>e</sup> session, 1974, Annexe T 31, et *Comptes rendus 15<sup>e</sup> CGPM*, 1975, Annexe 2; la traduction anglaise est publiée dans *Metrologia*, **12**, N<sup>o</sup> 1, 1976, p. 7.

Les principaux instruments utilisés pour la mesure des températures dans l'Échelle Internationale sont le thermomètre à résistance de platine, le thermocouple platine rhodié (10 % de rhodium)/platine et le pyromètre optique monochromatique. Ces instruments sont étalonnés à un certain nombre de températures reproductibles, appelées « points fixes de définition », dont la valeur est assignée par convention.

## 6. Quantité de matière

Tous les résultats quantitatifs d'analyses chimiques ou de dosages peuvent être exprimés en moles, c'est-à-dire en unités de quantité de matière des particules constituantes. Le principe des mesures physiques fondées sur la définition de cette unité est exposé ci-après.

Le cas le plus simple est celui d'un échantillon d'un corps pur que l'on considère comme formé d'atomes; appelons X le symbole chimique de ces atomes. Une mole d'atomes X contient par définition autant d'atomes qu'il y a d'atomes <sup>12</sup>C dans 0,012 kilogramme de carbone 12. Parce qu'on ne sait pas mesurer avec précision la masse  $m(^{12}\text{C})$  d'un atome de carbone 12, ni la masse  $m(\text{X})$  d'un atome X, on utilise le rapport de ces masses  $m(\text{X})/m(^{12}\text{C})$  qui peut être déterminé avec précision<sup>(3)</sup>. La masse correspondant à 1 mole de X est alors  $[m(\text{X})/m(^{12}\text{C})] \times 0,012 \text{ kg}$ , ce que l'on exprime en disant que la masse molaire  $M(\text{X})$  de X (quotient de la masse par la quantité de matière) est :

$$M(\text{X}) = [m(\text{X})/m(^{12}\text{C})] \times 0,012 \text{ kg/mol.}$$

Par exemple, l'atome de fluor <sup>19</sup>F et l'atome de carbone <sup>12</sup>C ont des masses qui sont dans le rapport 18,9984/12. La masse molaire du gaz moléculaire F<sub>2</sub> est :

$$M(\text{F}_2) = \frac{2 \times 18,9984}{12} \times 0,012 \text{ kg/mol} = 0,037\,996\,8 \text{ kg/mol.}$$

La quantité de matière correspondant à une masse donnée du gaz F<sub>2</sub>, 0,05 kg par exemple, est :

$$\frac{0,05 \text{ kg}}{0,037\,996\,8 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1,315\,90 \text{ mol.}$$

Dans le cas d'un corps pur que l'on considère comme formé de molécules B, qui sont des combinaisons d'atomes X, Y, ... selon la formule chimique  $B = X_\alpha Y_\beta \dots$ , la masse d'une molécule est  $m(\text{B}) = \alpha m(\text{X}) + \beta m(\text{Y}) + \dots$ .

Cette masse n'est pas connue avec précision, mais le rapport  $m(\text{B})/m(^{12}\text{C})$  peut être déterminé avec précision. La masse molaire d'un corps moléculaire B est alors :

$$M(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m(^{12}\text{C})} \times 0,012 \text{ kg/mol} = \left( \alpha \frac{m(\text{X})}{m(^{12}\text{C})} + \beta \frac{m(\text{Y})}{m(^{12}\text{C})} + \dots \right) \times 0,012 \text{ kg/mol.}$$

On procède de la même façon dans le cas le plus général où la substance considérée B a la composition spécifiée  $B = X_\alpha Y_\beta \dots$ , même si  $\alpha$  et  $\beta$  ne sont pas des nombres entiers. Autrement dit, si l'on désigne par  $r(\text{X})$ ,  $r(\text{Y})$ , ... les rapports

<sup>(3)</sup> On dispose de plusieurs méthodes pour mesurer ce rapport; la méthode la plus directe est l'emploi d'un spectromètre de masse.

de masse  $m(X)/m(^{12}\text{C})$ ,  $m(Y)/m(^{12}\text{C})$ , ... la masse molaire du corps constitué de la substance B est donnée par la formule générale :

$$M(\text{B}) = [\alpha r(\text{X}) + \beta r(\text{Y}) + \dots] \times 0,012 \text{ kg/mol.}$$

Il existe d'autres méthodes, fondées sur les lois de la physique et de la physico-chimie, pour mesurer les quantités de matière; en voici trois exemples.

Dans le cas des gaz parfaits, 1 mole de particules d'un gaz quelconque occupe le même volume à une température  $T$  et à une pression  $p$  (environ  $0,0224 \text{ m}^3$  à  $T = 273,16 \text{ K}$  et  $p = 101325 \text{ Pa}$ ); d'où une méthode pour mesurer le rapport des quantités de matière pour deux gaz quelconques (on sait déterminer les corrections nécessaires si les gaz ne sont pas parfaits).

Dans le cas des réactions électrolytiques quantitatives, on peut mesurer le rapport des quantités de matière par des mesures de quantité d'électricité. Par exemple, 1 mole de Ag et 1 mole de  $\frac{1}{2}$  Cu sont déposées sur une cathode par la même quantité d'électricité (environ  $96487 \text{ C}$ ).

L'application des lois de Raoult est encore une méthode de mesure des rapports des quantités de matière en solution étendue dans un solvant.

## 7. Grandeurs photométriques

Les mesures photométriques absolues, c'est-à-dire par comparaison à la luminance du corps noir à la température de congélation du platine, sont réservées à quelques laboratoires spécialisés. La précision de ces mesures absolues est un peu meilleure que 1 pour cent.

Les résultats des mesures absolues sont conservés au moyen de lampes à incandescence alimentées d'une façon spécifiée par un courant électrique continu. Ces lampes constituent des étalons d'intensité ou de flux lumineux.

La méthode approuvée en 1937 par le Comité International des Poids et Mesures (*Procès-Verbaux CIPM*, 18, p. 237) pour déterminer les valeurs des grandeurs photométriques des sources lumineuses ayant une couleur autre que celle de l'étalon primaire, consiste à utiliser un procédé tenant compte des « efficacités lumineuses relatives spectrales »  $V(\lambda)$ . Par sa Recommandation CI 1 (1972), le CIPM recommande d'employer les valeurs de  $V(\lambda)$  adoptées en 1971 par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) (4). La fonction de pondération  $V(\lambda)$  a été obtenue en vision photopique, c'est-à-dire pour des rétines adaptées à la lumière. Pour des rétines adaptées à l'obscurité, on obtient une autre fonction  $V'(\lambda)$  qui exprime l'efficacité lumineuse relative spectrale en vision scotopique (CIE, 1951); cette fonction  $V'(\lambda)$  a été sanctionnée par le CIPM en septembre 1976.

Les grandeurs photométriques se trouvent ainsi définies d'une manière purement physique comme des grandeurs proportionnelles à la somme ou à l'intégrale d'une répartition spectrale d'énergie pondérée selon une fonction spécifiée de la longueur d'onde.

---

(4) Publications CIE N° 18 (1970), p. 43, et N° 15 (1971), p. 93; *Procès-Verbaux CIPM* 40, 1972, Annexe 1. Les valeurs de  $V(\lambda)$  [ $= \bar{y}(\lambda)$ ] sont données à des longueurs d'onde échelonnées de 1 nm entre 360 et 830 nm; elles sont un perfectionnement des valeurs de 10 en 10 nm adoptées en 1933 par le CIPM et antérieurement en 1924 par la CIE.

## ANNEXE III

### NOTICE HISTORIQUE

### Les organes de la Convention du Mètre

#### *Le Bureau International, le Comité International et la Conférence Générale des Poids et Mesures*

Le *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) a été créé par la *Convention du Mètre* signée à Paris le 20 mai 1875 par dix-sept États, lors de la dernière séance de la Conférence Diplomatique du Mètre. Cette Convention a été modifiée en 1921.

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine (43 520 m<sup>2</sup>) du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre <sup>(1)</sup>.

Le Bureau International a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques; il est chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes;
- d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques qui interviennent dans les activités ci-dessus.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive du *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM), placé lui-même sous l'autorité de la *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM).

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit au moins une fois tous les six ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système International d'Unités (SI), forme moderne du Système Métrique;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et les diverses résolutions scientifiques de portée internationale;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

---

(1) Au 31 décembre 1976, quarante-quatre États sont membres de cette Convention: Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Corée, Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, URSS, Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents; il se réunit au moins une fois tous les deux ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un *Rapport Annuel* sur la situation administrative et financière du Bureau International.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau International ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937) et des rayonnements ionisants (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la Section des rayonnements ionisants.

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. Le budget annuel du Bureau International est de l'ordre de 5 000 000 de francs-or, soit environ 2 000 000 de dollars US (en 1977).

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau International, le Comité International a institué depuis 1927, sous le nom de *Comités Consultatifs*, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces Comités Consultatifs, qui peuvent créer des « Groupes de travail » temporaires ou permanents pour l'étude de sujets particuliers, sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer des recommandations concernant les modifications à apporter aux définitions et aux valeurs des unités, en vue des décisions que le Comité International est amené à prendre directement ou à soumettre à la sanction de la Conférence Générale pour assurer l'unification mondiale des unités de mesure.

Les Comités Consultatifs ont un règlement commun (*Procès-Verbaux CIPM*, 31, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé d'un délégué des grands Laboratoires de métrologie et des Instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité International, de membres individuels désignés également par le Comité International et d'un représentant du Bureau International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de sept :

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité* (CCE), créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (CCPR), nouveau nom donné en 1971 au *Comité Consultatif de Photométrie* (CCP) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (CCE) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie* (CCT), créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (CCDM), créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (CCDS), créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (CEMRI), créé en 1958. En 1969, ce Comité Consultatif a institué quatre sections : Section I (Rayons X et  $\gamma$ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie  $\alpha$ ); cette dernière Section a été dissoute en 1975, son domaine d'activité étant confié à la Section II.
7. Le *Comité Consultatif des Unités* (CCU), créé en 1964.

Les travaux de la Conférence Générale, du Comité International, des Comités Consultatifs et du Bureau International sont publiés par les soins de ce dernier dans les collections suivantes :

- *Comptes Rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*;
- *Sessions des Comités Consultatifs*;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (ce Recueil rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicopiés).

Le Bureau International publie de temps en temps, sous le titre *Les récents progrès du Système Métrique*, un rapport sur les développements du Système Métrique (SI) dans le monde.

La collection des *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée en 1966 par décision du Comité International.

Depuis 1965 le journal international *Metrologia*, édité sous les auspices du Comité International des Poids et Mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., ainsi que des informations sur les activités, les décisions et les recommandations des organes de la Convention du Mètre.

---

IMPRIMERIE DURAND  
28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal, Imprimeur, 1977, n° 668  
ISBN 92-822-2045-1  
ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 1977-03-16  
Imprimé en France

# Le Système International d'Unités (SI)

(3<sup>e</sup> Edition-1977)

## I N D E X

(Les numéros en italique indiquent les pages où se trouvent les définitions des unités)

- accélération due à la pesanteur ( $g_n$ ), 19  
ampère, 7, 21  
atmosphère normale, 24  
atto, 29
- becquerel, 35  
bougie nouvelle, 20, 32  
Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), 41-43
- candela, 9, 31  
Comité International des Poids et Mesures (CIPM), 41-43  
Comités Consultatifs, 42  
Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), 41-42  
Convention du Mètre, 41  
coulomb, 21  
curie, 29
- décimètre cube, 28  
degré Celsius, 8, 22, 30  
définitions des unités, mise en pratique des, 36-40
- échelle thermodynamique à un seul point fixe (point triple de l'eau), 21, 23  
étalon de fréquence ( $^{133}\text{Cs}$ ), 28  
exa, 35
- farad, 21  
femto, 29  
fréquence, étalon de, 28
- $g_n$ , 19  
grandeurs  
électriques, 38  
photométriques, 40  
gray, 35
- henry, 21
- joule, 21, 21-22
- kelvin, 7, 30, 31  
kilogramme, 6, 14, 18, 19, 32
- litre, 14 (symbole), 19, 28, 29  
longueur, 36  
lumen, 20
- masse, 37  
masse et poids, 19  
mètre, 6, 18, 20, 25  
micron, 32  
mise en pratique des définitions des principales unités, 36-40  
mole, 8  
multiples du kilogramme, 14, 32
- newton, 20  
nombres, écriture des, 23
- ohm, 21
- pascal, 33  
peta, 35  
poids (*voir* à masse)  
préfixes SI, 13, 27, 29, 35  
règles d'emploi, 14
- quantité de matière, 39
- radian, 13
- seconde, 7, 24, 26, 30  
siemens, 33  
stéradian, 13  
symboles  
écriture des, 9, 12, 23  
litre, 14  
unités de base, 9  
unités dérivées ayant des noms spéciaux, 10
- système  
international d'unités (SI), 25 ; 26 (adoption) ; 33-34  
pratique d'unités de mesure, proposition d'établissement d'un, 22, 24

TAI, 33-34  
température, 38  
  Celsius, 8  
  thermodynamique, 8, 30  
temps, 37  
  atomique international, 33-34  
  universel coordonné, 34  
  
unité SI  
  les 3 classes, 5  
  de base, 6  
  dérivées, 9-12, 27, 31-32  
  ayant des noms spéciaux, 10  
  supplémentaires, 12-13, 27

unités  
  admisses temporairement, 15-16  
  CGS ayant des noms spéciaux,  
    15-16  
  électriques, 21  
  en usage avec le SI, 14-15  
  généralement déconseillées, 17  
  photométriques, 20  
  de quantité de chaleur (joule),  
    21-22  
UTC, 34  
  
volt, 21  
  
watt, 21  
weber, 21

IMPRIMERIE DURAND  
28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal, Imprimeur, 1977, n° 668  
ISBN 92-822-2045-1  
ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 1977-03-16  
Imprimé en France

