

**COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS**

SESSION DE 1990  
MEETING OF 1990

---



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



COMITÉ CONSULTATIF  
DES UNITÉS

Rapport de la 10<sup>e</sup> session  
Report of the 10th Meeting

1990

Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex, France

ISBN 92-822-2113-X  
ISSN 0373-3181

---

LISTE DES SIGLES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT VOLUME  
LIST OF ACRONYMS USED IN THE PRESENT VOLUME

**Sigles des laboratoires, comités et commissions**  
**Acronyms for laboratories and committees**

ASMO	Arab Organization for Standardization and Metrology.
BIPM	Bureau international des poids et mesures.
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde.
CCE	Comité consultatif d'électricité.
CCU	Comité consultatif des unités.
CEI	Commission électrotechnique internationale.
CGPM	Conférence générale des poids et mesures.
CIE	Commission internationale de l'éclairage/International Commission on Illumination.
CIPM	Comité international des poids et mesures.
GOST	Comité d'État de l'URSS pour les normes/USSR State Committee for Standards, Moscou (URSS)
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements.
IEC	International Electrotechnical Commission.
ISO	Organisation internationale de normalisation/International Organization for Standardization.
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry.
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics.
NIM	Institut national de métrologie/National Institute of Metrology, Beijing (Rép. pop. de Chine).
NIST	National Institute of Standards and Technology, Washington (États-Unis d'Amérique).
NPL	National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni).
NRC	Conseil national de recherches du Canada/National Research Council of Canada, Ottawa (Canada).
NRLM	National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba (Japon).

OIML	Organisation internationale de métrologie légale.
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Allemagne).
STU-Commission	Commission on Physicochemical Symbols, Terminology and Units of IUPAC/UICPA.
SUN-AMCO Commission	Commission for Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants of IUPAP/UIPPA.
UICPA	Union internationale de chimie pure et appliquée.
UIPPA	Union internationale de physique pure et appliquée.
VNIIM	Institut national de métrologie V.I. Mendéléev, Leningrad (URSS).

### **Sigles des termes scientifiques**

#### **Acronyms for scientific terms**

EIT	Échelle internationale de température.
EIPT	Échelle internationale pratique de température.
EPT	Échelle pratique de température.
GPS	Global Positioning System.
ITS	International Temperature Scale.
SI	Système international d'unités/International System of Units.
TAI	Temps atomique international/International Atomic Time.
UTC	Temps universel coordonné/Coordinated Universal Time.

---

---

## LE BIPM

### ET LA CONVENTION DU MÈTRE

---

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 (1).

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 actuellement tous les quatre 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 d'adopter les diverses résolutions scientifiques de portée internationale ;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau international.

Le Comité international est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents ; il se réunit actuellement tous les 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), des rayonnements ionisants (1960) et aux échelles de temps (1988). 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.

---

(1) Au 31 décembre 1990, quarante-six États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Chine (Rép. pop. de), Corée (Rép. de), Corée (Rép. pop. dém. de), Danemark, Dominicaine (Rép.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Iran, Irlande, Israël, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, Yougoslavie.

Une quarantaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau international. Ils y font principalement des recherches métrologiques, des comparaisons internationales des réalisations des unités et des vérifications d'étalons dans les domaines mentionnés ci-dessus. Ces travaux font l'objet d'un rapport annuel détaillé qui est publié avec les procès-verbaux des séances du Comité international.

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 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 (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 31, 1963, p. 97). Chaque comité consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité international, est composé de délégués de chacun 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 huit :

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 (CCEMRI), 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 (ce comité consultatif a remplacé la « Commission du système d'unités » instituée par le CIPM en 1954).
8. Le Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées (CCM), créé en 1980.

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 hors commerce 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 aussi des monographies sur des sujets métrologiques particuliers et, sous le titre « *Le Système international d'unités (SI)* », une brochure remise à jour périodiquement qui rassemble toutes les décisions et recommandations concernant les unités.

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 la revue internationale *Metrologia*, éditée 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 rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des organes de la Convention du Mètre.

---

**Comité international des poids et mesures**

*Secrétaire*

J. KOVALEVSKY

*Président*

D. KIND

---

LISTE DES MEMBRES  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS

---

*Président*

J. DE BOER, membre du CIPM, Institut de physique, Université d'Amsterdam, Amsterdam-C, Pays-Bas.

*Membres*

COMITÉ D'ÉTAT DE L'URSS POUR LES NORMES [GOST], Moscou.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE [CEI] : Comité d'études N° 25.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE [CIE].

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA [NRC], Ottawa.

INSTITUT NATIONAL DE MÉTROLOGIE [NIM], Beijing.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS [ICRU].

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY [NIST], Gaithersburg.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [NPL], Teddington.

NATIONAL RESEARCH LABORATORY OF METROLOGY [NRLM], Tsukuba.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE [OIML].

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION [ISO]: Comité technique 12.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [PTB], Braunschweig.

UNION INTERNATIONALE DE CHIMIE PURE ET APPLIQUÉE [UICPA]: Commission STU.

UNION INTERNATIONALE DE PHYSIQUE PURE ET APPLIQUÉE [UIPPA]: Commission SUN-AMCO.

H. H. JENSEN, Copenhague.

M. L. McGLASHAN, Londres.

L. VILLENA, Madrid.

Le directeur du Bureau international des poids et mesures [BIPM].

---



ORDRE DU JOUR  
de la 10<sup>e</sup> session

---

1. Préparation de la 6<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI.
  2. Symbole du litre.
  3. Symboles de préfixes.
  4. Symbole pour l'unité des grandeurs de dimension 1.
  5. Noms spéciaux pour des unités SI.
  6. Autres questions.
-

---

RAPPORT  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS  
(10<sup>e</sup> session - 1990)  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par A. O. McCoubrey, rapporteur

---

Le Comité consultatif des unités (CCU) a tenu sa 10<sup>e</sup> session au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres ; quatre séances ont eu lieu les 10 et 11 juillet 1990.

Étaient présents :

J. DE BOER, membre du CIPM, président du CCU.

Les délégués des laboratoires et organismes membres :

Comité d'État de l'URSS pour les normes [GOST]: VNIIM, Leningrad (YU. V. TARBEÉV, A. DIATLEV).

Commission électrotechnique internationale [CEI]: Comité d'études N° 25 (A. O. McCoubrey, A. J. THOR).

Conseil national de recherches du Canada [NRC], Ottawa (G. HANES).

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (A. ALLISY).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (B. N. TAYLOR).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (R. J. BELL).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tsukuba (K. MITSUI).

Organisation internationale de métrologie légale [OIML] (R. GALLE).

Organisation internationale de normalisation [ISO]: Comité technique 12 (A. J. THOR).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (S. GERMAN).

Union internationale de chimie pure et appliquée [UICPA]:  
Commission STU (I. M. MILLS).

Union internationale de physique pure et appliquée [UIPPA]:  
Commission SUN-AMCO (B. W. PETLEY).

Les membres nominativement désignés :

H. H. JENSEN, Copenhague

M. L. MCGLASHAN, Londres

L. VILLENA, Madrid.

Le directeur du BIPM (T. J. QUINN).

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO (directeur honoraire du BIPM), D. A. BLACKBURN (BIPM).

Absents : Commission internationale de l'éclairage [CIE]; Institut national de métrologie [NIM], Beijing.

Le président accueille les participants et fait les présentations.

M. McCoubrey est nommé rapporteur, assisté de M. Blackburn comme secrétaire.

Le projet d'ordre du jour est adopté et au point 6 (Autres questions) il est proposé d'aborder les sujets suivants : révision du statut du wattheure comme unité, définition de l'ampère, emploi de l'expression « unité SI », uniformité internationale et traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques. Une proposition, concernant le moment dipolaire magnétique, n'est pas retenue car elle est du ressort de la CEI et de l'ISO.

## 1. Préparation de la 6<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI

Il convient d'apporter un certain nombre de modifications à l'Annexe II de la brochure sur le SI, annexe intitulée « *Mise en pratique des définitions des principales unités* ». En effet, le CIPM a récemment pris des décisions concernant les représentations du volt et de l'ohm, il a adopté l'EIT-90 et donné une interprétation de la définition du kilogramme dans le cadre de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux ; par ailleurs il faut apporter quelques éclaircissements au sujet de l'unité de temps et des échelles de temps. Le document CCU/90-1, préparé par J. de Boer et T.J. Quinn, proposant un texte pour ces modifications, a été diffusé avant la session. Ce projet a été remplacé pendant la session par une version révisée, à la suite d'une première discussion. Pour les parties concernées de l'Annexe II de la 5<sup>e</sup> édition, les changements envisagés sont examinés paragraphe par paragraphe.

## Masse

M. Bell distribue le texte des commentaires préparés au NPL sur le projet de modification (document CCU/90-15) et M. German remet aussi au président des commentaires écrits. Après une brève discussion, le texte suivant est adopté par le CCU :

« L'unité de masse, le kilogramme, est la masse du prototype international du kilogramme conservé au BIPM. La masse des étalons secondaires du kilogramme en platine iridié ou en acier inoxydable est comparée à la masse d'un prototype à l'aide de balances dont la précision peut atteindre  $1 \times 10^{-8}$ . Dans le cas d'étalons en acier inoxydable, l'exactitude de la comparaison dépend de l'exactitude avec laquelle la correction due à la poussée de l'air peut être connue.

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

L'utilisation de balances qui permettent d'atteindre des exactitudes d'environ  $1 \mu\text{g}$  a fait apparaître que le prototype international du kilogramme, ainsi que les autres prototypes en platine iridié, voient leur masse augmenter d'environ  $1 \mu\text{g}$  par mois dans les quelques mois qui suivent le nettoyage/lavage selon la méthode établie par le BIPM. Lors de sa session de 1989, le CIPM a en conséquence décidé (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 57, 1989, p. 16) que pour les besoins de la troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme, actuellement en cours, la définition du kilogramme donnée en 1889 sera interprétée comme se rapportant à la masse du prototype international juste après le nettoyage/lavage selon la méthode du BIPM et que cette masse sera obtenue par extrapolation. Afin d'être bien clair, le CIPM a précisé que cela ne constitue pas une redéfinition du kilogramme ». (\*)

En réponse à une question de M. Taylor, M. Quinn précise que le BIPM n'emploie pas de majuscule en anglais lorsqu'il se réfère au kilogramme prototype international ou aux étalons représentant les autres unités de base du SI. À cet égard le BIPM utilise dans les deux langues de préférence les conventions utilisées en français.

---

(\*) Lors de sa 79<sup>e</sup> session, en septembre 1990, le CIPM a décidé de ne pas introduire dans la 6<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI ce dernier paragraphe, estimant que celui-ci risque de conduire à des interprétations erronées s'il est séparé de son contexte.

## Temps

Dans le cours de la discussion du document CCU/90-1, M. German fait remarquer que les valeurs de l'exactitude qui sont indiquées doivent être fondées sur des valeurs données des incertitudes ; il suggère que les valeurs mentionnées dans la brochure soient revues pour être mieux en accord avec l'état présent des techniques. Il est également convenu que, quelque part dans le texte, à un emplacement à déterminer ultérieurement, il sera précisé que toutes les valeurs d'incertitude qui figurent dans le document correspondent à un écart-type. Il est nécessaire aussi d'apporter quelques éclaircissements au texte de l'avant-dernier paragraphe (comparant la valeur de la seconde du TAI pour des horloges à la surface de la Terre et à 2 000 m d'altitude). Après cette discussion, le CCU adopte la version suivante :

### *Unité de temps, fréquence*

« Quelques laboratoires de recherche construisent eux-mêmes l'appareillage pour produire des oscillations électriques dont la fréquence est dans un rapport connu avec la fréquence de transition de l'atome de césium 133 qui définit la seconde. On obtient ainsi la seconde et des impulsions à la fréquence voulue, 1 Hz, 1 kHz, etc. Pour les meilleures installations actuelles, on estime que l'incertitude obtenue est de quelques  $10^{-14}$  pour des moyennes qui s'étendent sur des périodes comprises entre quelques heures et quelques jours. On trouve aussi dans le commerce des étalons de temps à césium qui ont des incertitudes d'environ  $3 \times 10^{-12}$ .

À côté des étalons à césium, il existe des horloges et des générateurs de fréquence très stables, comme le maser à hydrogène et les horloges à quartz ou à rubidium. Leur fréquence doit être étalonnée par comparaison à un étalon de temps à césium, soit directement, soit par l'intermédiaire d'émissions hertziennes. Certaines de ces émissions fournissent des signaux dont la fréquence est connue avec une incertitude (écart-type) allant de  $1 \times 10^{-11}$  à  $5 \times 10^{-13}$ . Ces émissions couvrent toute la surface de la Terre, mais leur réception est parfois difficile à cause des irrégularités de propagation. Lorsqu'il est nécessaire d'avoir une exactitude supérieure, il est préférable de procéder à des comparaisons d'horloges, comme il est expliqué ci-après. »

### *Échelles de temps*

« Quelques-uns des étalons à césium construits par les laboratoires de recherche fonctionnent sans interruption comme étalons de temps. D'autre part, de nombreux services horaires

nationaux exploitent des étalons à césium commerciaux, en service continu, étalons qui sont conservés dans des conditions d'environnement soigneusement contrôlées. Depuis 1969 il est possible de comparer ces différents instruments, sur des distances intercontinentales, avec des incertitudes réduites à quelques centaines de nanosecondes. Il a donc été possible d'établir une échelle de temps atomique moyenne offrant des garanties de pérennité suffisantes pour qu'elle serve de référence temporelle mondiale. Cette échelle, approuvée par la Résolution 1 de la 14<sup>e</sup> CGPM en 1971, a reçu le nom de Temps atomique international (TAI)\*. Grâce au système de satellites « Global Positioning System » (GPS) le TAI est maintenant accessible dans le monde entier à une vingtaine de nanosecondes près.

Le TAI n'est pas diffusé de façon directe. Les signaux de temps diffusés par radio sont donnés dans une échelle de temps appelée Temps universel coordonné (UTC) selon la recommandation de la 15<sup>e</sup> CGPM (Résolution 5) en 1975. L'UTC est défini de telle façon qu'il diffère du Temps atomique international (TAI) d'un nombre entier 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 l'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 l'UTC, de préférence en premier lieu à la fin de décembre ou de juin et en second lieu à la fin de mars ou de septembre, afin que l'UTC reste en accord avec le temps défini par la rotation de la Terre avec une approximation meilleure que 0,9 s\*\*. 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) par rapport à l'UTC.

Les laboratoires horaires nationaux maintiennent une approximation de l'UTC désignée par UTC(k) pour le laboratoire k. Les écarts entre UTC(k) et UTC sont en général réduits à quelques microsecondes conformément à la Recommandation 1 (CI-1989).

La précision et l'exactitude des mesures de temps conduisent parfois à devoir tenir compte des effets de la relativité. La définition de la seconde doit être comprise comme la définition de l'unité de temps propre, c'est-à-dire qu'en toute rigueur l'utilisateur doit se trouver au voisinage de l'horloge et au repos par rapport à celle-ci. En général, dans l'étendue d'un laboratoire, seuls les effets de la relativité restreinte ont de l'importance, si l'horloge est dans ce laboratoire. Mais, pour des applications

---

(\*) Voir à la page 50 la définition du TAI donnée par le CIPM à la demande de la 14<sup>e</sup> CGPM (1971, Résolution 1).

(\*\*) Au 1<sup>er</sup> janvier 1991 la différence UTC - TAI est égale à - 26 s.

mettant en jeu des horloges distantes les unes des autres, il peut être nécessaire de prendre en compte la relativité générale. En particulier, le TAI est fondé sur un réseau mondial d'horloges et sa définition a été complétée comme suit (déclaration du CCDS, *BIPM Com. Cons. Déf. Seconde*, 9, 1980 p. S 15) :

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

Pour toutes les horloges fixes par rapport à la Terre et situées au niveau de la mer, l'unité d'échelle du TAI a une durée égale à celle de l'unité de temps telle qu'elle est réalisée localement, mais, par exemple, pour une horloge située à 2 000 m d'altitude l'unité d'échelle du TAI paraît être plus longue de  $2,2 \times 10^{-13}$  s. Dans les liaisons horaires à grande distance qui passent par des satellites géostationnaires, l'effet relativiste peut atteindre quelques centaines de nanosecondes.

L'unité d'échelle du TAI (et de l'UTC) est conforme à sa définition à 2 ou  $3 \times 10^{-14}$  s près sur des moyennes de 10 ou 20 jours. Le TAI et l'échelle de temps d'une horloge locale peuvent être comparées à l'aide des signaux émis par les satellites du GPS et l'on peut déterminer ainsi la fréquence de l'horloge locale à 2 ou  $3 \times 10^{-14}$  près ».

## **Grandeurs électriques**

Lorsque le Comité aborde la discussion du texte proposé dans le Document CCU/90-1 portant sur les grandeurs électriques, M. Tarbéev distribue le document CCU/90-16, dans lequel sont exposés les avis des experts soviétiques. Afin de tenir compte de ces commentaires et d'autres détails susceptibles de surgir pendant la discussion, le président nomme un groupe de travail spécial, comprenant MM. Tarbéev, Taylor, Petley et Quinn, chargé de revoir le texte pendant la prochaine pause de la séance.

M. McGlashan fait remarquer que dans le texte proposé le terme « watt électrique » tend à donner l'impression fautive qu'il existe plusieurs sortes de watt. Il a été admis de façon générale qu'il fallait éviter cette pratique et que le mot « watt » devait être utilisé sans qualificatif. On discute aussi quelque peu sur la nécessité d'éviter de laisser penser que l'emploi de l'effet Josephson ou de l'effet Hall quantique est lié à la définition de l'unité de base en électricité ou aux étalons qui sont utilisés comme réalisation physique de cette définition. Dans cette perspective, il est décidé que dans le texte proposé le mot « étalons » doit être remplacé par « étalons de référence des laboratoires ».

En ce qui concerne la Résolution 6 de la 18<sup>e</sup> CGPM (1987), le président note qu'elle doit figurer dans l'Annexe II : *Mise en pratique des définitions des principales unités* pour éviter que cette résolution ne soit comprise comme un changement de définition d'une unité.

Lors de la discussion des deux derniers paragraphes du texte sur les grandeurs électriques, M. Taylor estime que l'emploi des guillemets dans les sous-paragraphes (1) et (2) n'est pas correct parce qu'il ne s'agit pas de citations exactes. L'ensemble du comité est d'accord sur cette remarque et le CCU décide que, pour l'impression, on fera des citations exactes ou bien on utilisera des italiques au lieu de guillemets.

Le groupe de travail spécial formé au début de la discussion ayant présenté une version modifiée du document CCU/90-1, le président revient à la discussion générale du texte relatif aux grandeurs électriques et passe en revue les changements proposés. Après quelques modifications rédactionnelles mineures supplémentaires, le CCU adopte le texte suivant pour la brochure :

« La réalisation de l'ampère (unité de base du SI), de l'ohm ou du volt, directement selon leur définition et avec une exactitude élevée, demande un travail long et difficile. Les meilleures réalisations de l'ampère que l'on obtienne aujourd'hui font appel à des réalisations du watt, de l'ohm ou du volt. Le watt tel qu'il est réalisé de façon électrique est comparé à l'aide d'une balance avec le watt tel qu'il est réalisé de façon mécanique. L'expérience utilise une bobine dans un champ magnétique de telle façon qu'il n'est nécessaire de connaître ni les dimensions de la bobine ni la valeur du champ magnétique. L'ohm est réalisé en utilisant la variation de capacité d'un condensateur de Thompson-Lampard, variation qui est uniquement fonction du déplacement linéaire d'une électrode de garde. Le volt est réalisé au moyen d'une balance dans laquelle une force électrostatique est mesurée en fonction d'une force mécanique. On peut déduire l'ampère en combinant deux des trois unités précédentes. L'incertitude sur la valeur de l'ampère ainsi obtenu est estimée à quelques  $10^{-7}$ . L'ampère, l'ohm et le volt peuvent aussi être déterminés à partir des mesures de diverses combinaisons de constantes physiques. Les laboratoires utilisent aujourd'hui des étalons de référence du volt ou de l'ohm fondés respectivement sur l'effet Josephson ou l'effet Hall quantique, étalons qui sont nettement plus reproductibles et plus stables que quelques  $10^{-7}$ . C'est pour profiter de l'avantage qu'offrent ces méthodes très stables pour conserver les étalons de référence des laboratoires représentant les unités électriques, tout en prenant soin en même temps de ne pas modifier les définitions du SI, que la 18<sup>e</sup> CGPM a adopté, en 1987, la Résolution 6 suivante.

Ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm

RÉSOLUTION 6

La Dix-huitième Conférence générale des poids et mesures,

*considérant*

— que l'uniformité mondiale et la constance à long terme des représentations nationales des unités électriques sont d'une importance majeure pour la science, le commerce et l'industrie du point de vue technique comme du point de vue économique,

— que de nombreux laboratoires nationaux utilisent l'effet Josephson et commencent à utiliser l'effet Hall quantique pour conserver respectivement des représentations du volt et de l'ohm qui donnent les meilleures garanties de stabilité à long terme,

— qu'en raison de l'importance de la cohérence entre les unités de mesure des diverses grandeurs physiques les valeurs attribuées à ces représentations doivent être autant que possible en accord avec le SI,

— que l'ensemble des résultats des expériences en cours ou récemment achevées permettra d'établir une valeur acceptable, suffisamment compatible avec le SI, pour le coefficient qui relie chacun de ces effets à l'unité électrique correspondante,

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

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

En 1988, le CIPM a adopté les Recommandations 1 (CI-1988), et 2 (CI-1988) suivantes :

Représentation du volt au moyen de l'effet Josephson

RECOMMANDATION 1 (CI-1988)

Le Comité international des poids et mesures,

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

*considérant*

— qu'une étude approfondie des résultats des déterminations les plus récentes conduit à une valeur de 483 597,9 GHz/V pour la constante de Josephson,  $K_J$ , c'est-à-dire pour le quotient de la fréquence par la tension correspondant au palier de rang  $n = 1$  dans l'effet Josephson,

— que l'effet Josephson, avec cette valeur de  $K_J$ , peut être utilisé pour établir un étalon de référence de force électromotrice dont l'incertitude (écart-type), par rapport au volt, est estimée à  $4 \times 10^{-7}$  en valeur relative et dont la reproductibilité est nettement meilleure,

*recommande*

— que l'on adopte, par convention, pour la constante de Josephson,  $K_J$ , la valeur  $K_{J-90} = 483\,597,9$  GHz/V exactement,

— que cette nouvelle valeur soit utilisée à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1990, et non auparavant, pour remplacer les valeurs actuellement en usage,

— que cette nouvelle valeur soit utilisée à partir de cette même date par tous les laboratoires qui fondent sur l'effet Josephson leurs mesures de force électromotrice,

— qu'à partir de cette même date tous les autres laboratoires ajustent la valeur de leurs étalons de référence pour la mettre en accord avec cette nouvelle valeur,

*estime*

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

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

Représentation de l'ohm au moyen de l'effet Hall quantique

RECOMMANDATION 2 (CI-1988)

Le Comité international des poids et mesures,

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

*considérant*

— que la plupart des étalons actuels de référence de résistance électrique présentent au cours du temps des variations significatives,

— qu'un étalon de référence de résistance électrique fondé sur l'effet Hall quantique serait stable et reproductible,

— qu'une étude approfondie des résultats des déterminations les plus récentes conduit à une valeur de  $25\,812,807\ \Omega$  pour la constante de von Klitzing,  $R_K$ , c'est-à-dire pour le quotient de la tension de Hall par le courant correspondant au plateau de rang  $i = 1$  dans l'effet Hall quantique,

— que l'effet Hall quantique, avec cette valeur de  $R_K$ , peut être utilisé pour établir un étalon de référence de résistance dont l'incertitude (écart-type), par rapport à l'ohm, est estimée  $2 \times 10^{-7}$  en valeur relative et dont la reproductibilité est nettement meilleure,

*recommande*

— que l'on adopte par convention, pour la constante de von Klitzing,  $R_K$ , la valeur  $R_{K-90} = 25\,812,807\ \Omega$  exactement,

— que cette valeur soit utilisée à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1990, et non auparavant, par tous les laboratoires qui fondent sur l'effet Hall quantique leurs mesures de résistance électrique,

— qu'à partir de cette même date tous les autres laboratoires ajustent la valeur de leurs étalons de référence pour la mettre en accord avec  $R_{K-90}$ ,

— que, pour établir un étalon de référence de résistance électrique fondé sur l'effet Hall quantique, les laboratoires suivent les conseils pour la mise en œuvre de la résistance de Hall quantifiée élaborés par le Comité consultatif d'électricité et publiés par les soins du Bureau international des poids et mesures, dans leur édition la plus récente,

*et estime*

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

Lors de la session de 1988 le CCE a très soigneusement considéré la façon dont les valeurs recommandées  $K_{J-90}$  et  $R_{K-90}$ , admises par convention, doivent être utilisées. Pour clarifier les conséquences de ces recommandations, il a fait des déclarations complémentaires que l'on peut résumer comme suit :

(1) Les Recommandations 1 (CI-1988) et 2 (CI-1988) ne constituent pas une redéfinition des unités SI. Les valeurs  $K_{J-90}$  et  $R_{K-90}$ , admises par convention, ne peuvent être utilisées pour la définition du volt et de l'ohm, c'est-à-dire des unités de force électromotrice et de résistance électrique du Système international d'unités. Sinon la constante  $\mu_0$  n'aurait plus une valeur définie exactement, ce qui rendrait caduque la définition de l'ampère, et les unités électriques seraient incompatibles avec la définition du kilogramme et des unités qui en dérivent.

(2) Au sujet de l'utilisation d'indices associés aux symboles des grandeurs ou unités, le CCE considère que les symboles des grandeurs force électromotrice (potentiel électrique, différence de potentiel électrique) ou résistance électrique, ainsi que ceux du volt ou de l'ohm, ne devraient pas être modifiés par l'adjonction d'indices désignant des laboratoires ou des dates particuliers.

Ces déclarations ont été ultérieurement approuvées par le CIPM lors de sa 78<sup>e</sup> session en 1988 ».

## Température

Lorsque le Comité aborde la discussion du texte proposé dans le document CCU/90-1 au sujet de la température, M. Bell distribue un document complémentaire (CCU/90-17), contenant les commentaires de son collègue du NPL, M. Rusby. M. Tarbéev demande que l'on envisage un changement dans la remarque se rapportant à la définition de l'unité de température thermodynamique à la page 10, paragraphe *e*) de la 5<sup>e</sup> édition de la brochure du SI, comme l'ont proposé les experts soviétiques en thermométrie dans le document CCU/90-16 déjà distribué. Ce changement affecterait l'équation de définition de la température Celsius.

Lors de la discussion de la proposition de M. Tarbéev, M. McGlashan souligne qu'une telle modification apportée à une définition établie entraînerait une certaine confusion et, que, de plus, l'ISO a tenu compte de cette remarque telle qu'elle figure actuellement dans la définition existante. La proposition de modification n'est appuyée par aucun des participants et il est décidé que la remarque de la page 10, paragraphe *e*), de la 5<sup>e</sup> édition de la brochure demeurera inchangée.

Le texte suivant est adopté par le CCU pour la 6<sup>e</sup> édition de la brochure :

« On ne peut faire des mesures directes de la température thermodynamique qu'en utilisant l'un des rares thermomètres appelés primaires. Ce sont des thermomètres dont l'équation d'état peut être écrite de façon explicite sans avoir à introduire des constantes inconnues qui dépendent de la température. Parmi les thermomètres primaires qui ont été utilisés pour obtenir des valeurs exactes de la température thermodynamique il y a le thermomètre à gaz à volume constant, le thermomètre acoustique à gaz, les thermomètres à rayonnement spectral ou total et le thermomètre électronique à bruit. Avec ces thermomètres on a obtenu des incertitudes de 1 ou 2 millikelvins jusqu'à environ 373 K ; au-delà, les incertitudes augmentent progressivement. Pour obtenir de ces thermomètres une grande exactitude, il faut entreprendre un travail long et difficile. Il existe par ailleurs des thermomètres secondaires, comme le thermomètre à résistance de platine, avec lesquels la reproductibilité des mesures peut être de l'ordre de dix fois supérieure à celle des mesures effectuées avec l'un quelconque des thermomètres primaires. Afin de tirer le meilleur parti de ces thermomètres secondaires, la CGPM a au cours du temps adopté des versions successives d'une échelle internationale de température. La première de ces échelles a été l'Échelle internationale de température de 1927 (EIT-27) ; elle a été remplacée par l'Échelle internationale pratique de température de 1948 (EIPT-48), qui, à son tour, a fait place à l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIPT-68). En 1976 le CIPM a adopté, pour les basses températures, l'Échelle provisoire de température de 0,5 K à 30 K de 1976 (EPT-76). Le 1<sup>er</sup> janvier 1990, l'EIPT-68 et l'EPT-76 ont été remplacées par l'Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90) adoptée par le CIPM en 1989 par sa Recommandation 5 (CI-1989).

## Échelle internationale de température de 1990

### RECOMMANDATION 5 (CI-1989)

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

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

— s'étend vers des températures plus basses, jusqu'à 0,65 K, et remplace, de ce fait, aussi l'Échelle provisoire de température de 1976 (EPT-76),

— est en bien meilleur accord avec les températures thermodynamiques correspondantes,

— a une continuité, une précision et une reproductibilité nettement améliorées sur toute son étendue,

— comporte des sous-domaines et donne, dans certains domaines, des définitions équivalentes qui facilitent grandement son utilisation.

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

Le CIPM *recommande*

— que l'EIT-90 soit mise en application le 1<sup>er</sup> janvier 1990,

— et que, à la même date, l'EIPT-68 et l'EPT-76 soient abrogées.

L'EIT-90 s'étend de 0,65 K jusqu'à la température la plus élevée mesurable à l'aide d'un pyromètre optique. L'échelle est définie entre 0,65 K et 5 K au moyen d'équations de la pression de vapeur saturante de l'hélium ; entre 3 K et 24,5561 K au moyen du thermomètre d'interpolation à gaz à volume constant ; entre 13,8033 K et 961,78 °C au moyen du thermomètre à résistance de platine et aux températures supérieures à l'aide de la loi du rayonnement de Planck. Elle comporte une série de points fixes de définition et des méthodes d'interpolation à utiliser entre ces points. Ces points fixes de définition sont les températures d'un certain nombre d'états thermodynamiques réalisables de façon expérimentale auxquelles on s'est mis d'accord pour assigner une valeur convenue. Dans plusieurs domaines de température plusieurs définitions de la température  $T_{90}$  définie par l'échelle coexistent. Les différentes définitions sont également valables.

Des conseils pour réaliser et mettre en œuvre l'EIT-90 sont donnés dans les deux documents « Supplementary Information for the ITS-90 » et « Techniques for Approximating the ITS-90 » qui sont approuvés et mis à jour périodiquement par le Comité consultatif de thermométrie et publiés par le BIPM.»

Avant de clore la discussion du point 1 le président se réfère au commentaire général fait par le NPL (document CCU/90-17) concernant l'organisation de la brochure. Après une brève discussion, M. Bell donne son accord pour que les idées avancées soient considérées ultérieurement.

## **2. Symbole du litre**

(Document CCU/90-2)

M. Thor fait part de l'intérêt que porte l'ISO à l'utilisation exceptionnelle qui se perpétue de deux symboles, l et L, pour le litre. L'ISO souhaite que la question figure à l'ordre du jour de la 19<sup>e</sup> CGPM. À ce sujet, le secrétariat de l'ISO/TC 12 a fait savoir au CCU qu'il est prêt à faire circuler un questionnaire parmi ses membres et les organisations internationales avec lesquelles il est en liaison.

Lors d'une discussion assez longue sur l'emploi de ces deux symboles, le président demande aux membres du CCU si leur choix se porterait sur « l » ou sur « L » dans le cas où la décision d'un symbole unique devrait être prise maintenant. Le résultat d'un vote indicatif, à mains levées, est à peu près le même pour chaque symbole ; toutefois, la majorité des membres préfèrent continuer à utiliser les deux symboles plutôt que prendre une décision en faveur de l'un ou de l'autre.

Le questionnaire proposé par l'ISO n'a pas soulevé une approbation marquée car on pense que les résultats ne feront pas apparaître une préférence nette pour l'utilisation d'un symbole ou de l'autre. En conclusion on constate que la situation relative à l'utilisation de deux symboles du litre reste inchangée et il est convenu que le CCU ne présentera pas au CIPM de proposition à ce sujet en vue de la 19<sup>e</sup> CGPM. M. Thor indique que l'ISO/TC 12 continuera vraisemblablement à explorer les possibilités d'arriver à un consensus sur l'emploi d'un symbole unique.

### 3. Symboles de préfixes

(Documents CCU/90-4 et 90-18)

Le CCU se réfère à la proposition de l'UICPA (document CCU/90-4) concernant les préfixes et les symboles pour  $10^{+21}$ ,  $10^{+24}$ ,  $10^{-21}$  et  $10^{-24}$ . Le président introduit la discussion en rappelant l'historique des recommandations faites lors des précédentes sessions du CCU. Il note qu'une coutume s'est instaurée :

— on utilise des préfixes se terminant par « o » pour les puissances négatives de dix et des préfixes se terminant par « a » pour les puissances positives de dix, et

— on utilise des symboles en bas de casse pour les préfixes correspondant à des puissances négatives de dix et des symboles en capitales pour les préfixes correspondant à des puissances positives.

Lors de sa 4<sup>e</sup> session, en 1974, le CCU a avancé les termes « sepo », « seto » ou « septo » comme préfixe pour  $10^{-21}$  et « sepa », « seta » ou « septa » pour  $10^{+21}$ , mais il n'a pris aucune décision à ce sujet.

Après une assez longue discussion, il apparaît évident que les membres du CCU sont d'accord sur le principe de la proposition de l'UICPA, mais il y a des objections pour les symboles. Par exemple, la lettre « s » est déjà utilisée comme symbole pour une unité du SI et la lettre « o » risque d'être facilement confondue avec un zéro. Le président reporte la discussion à la séance suivante et entre temps il prépare le document CCU/90-18 comme guide.

Dans la suite de la discussion on fait remarquer que les unités « bel », « tonne » et « unité de masse atomique unifiée » doivent être ajoutées dans le document CCU/90-18. Par ailleurs « litre » doit s'écrire sans majuscule.

Après plus ample discussion sur un certain nombre de possibilités différentes pour éviter des symboles déjà utilisés pour des unités, il est suggéré que les premières lettres « s » et « o » dans les préfixes proposés soient remplacées par d'autres lettres dont la prononciation est voisine. Dans l'ensemble les membres du CCU sont d'accord sur ce principe et finalement le CCU se rallie à la proposition suivante :

multiple	préfixe	symbole	sous-multiple	préfixe	symbole
$10^{+21}$	zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{+24}$	yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y

Il est convenu que l'origine de ces préfixes doit être mentionnée.

Les noms zepto et zetta évoquent le chiffre sept (septième puissance de  $10^3$ ) et la lettre « z » remplace la lettre « s » pour éviter le double emploi de la lettre « s » comme symbole.

Les noms yocto et yotta sont dérivés de octo, qui évoque le chiffre huit (huitième puissance de  $10^3$ ); la lettre « y » est ajoutée pour éviter l'emploi de la lettre « o » comme symbole à cause de la confusion possible avec le chiffre zéro.

#### 4. Symbole pour l'unité des grandeurs de dimension 1

(Documents CCU/90-3, 90-8 et 90-14)

Le président aborde la discussion d'un éventuel symbole, I, pour l'unité des grandeurs de dimension 1, et présente le document CCU/90-14 qu'il a préparé pour résumer les résultats de discussions antérieures sur la question au sein du CCU. M. Thor informe le CCU que le chiffre « 1 » est employé comme symbole pour toutes les grandeurs de dimension 1 dans la révision actuellement en cours de l'ISO-31; cette façon de faire est conforme à la « Remarque » de la page 15 de la 5<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI. M. Thor présente ensuite le Document CCU/90-3; il fait remarquer que ce document a été à l'origine rédigé par le Comité technique 25 de la CEI et constitue une proposition faite à l'ISO/TC 12 pour une action conjointe en vue de recommander au CCU un symbole pour l'unité des grandeurs de dimension 1. Le comité d'experts de l'ISO/TC 12 n'est pas favorable au symbole « I » avancé dans la proposition du Comité technique 25 de la CEI mais convient que le besoin d'un symbole existe et pense que le chiffre « 1 » peut être employé comme symbole; à ce sujet, l'ISO/TC 12 reconnaît les problèmes que pose l'emploi de préfixes avec le chiffre « 1 » utilisé comme symbole.

Comme l'ISO n'appuie pas la proposition de la CEI, l'opportunité d'inclure ce sujet dans l'ordre du jour du CCU est mise en doute. Le président estime pourtant qu'une discussion ouverte s'impose.

Au cours de la discussion qui s'ensuit, les problèmes liés à l'utilisation du chiffre « 1 » comme symbole pour l'unité des grandeurs de dimension 1 et la nécessité qui subsiste de trouver une solution à ces problèmes sont passés en revue dans le détail. M. Mills fait remarquer que, à côté des besoins qui ont été rappelés dans les documents préparés pour la session, les besoins vont croissant dans le domaine de la biologie. Pour ce qui est de l'emploi des préfixes avec le nombre « 1 » employé comme symbole, il est noté que ces difficultés pourraient être évitées en utilisant la notation exponentielle; M. Giacomo fait, toutefois, remarquer que l'emploi de la notation exponentielle pose des problèmes à l'impression. On a proposé l'emploi du symbole « dex » (correspondant à « exp »), par exemple, dex(- 3). Le président estime que c'est à l'ISO et non au CCU qu'il incombe d'étudier une notation de ce genre.

Soulignant que l'ISO n'est pas en faveur de l'emploi d'un symbole tel que « I », M. Jensen recommande qu'il ne soit pas adopté par le CCU. Il demande si la plupart sinon la totalité des problèmes pourraient être résolus par l'emploi du nombre « 1 ». Le président pense qu'ils le pourraient. Il conclut la discussion en observant qu'il n'est pas possible d'adopter un symbole maintenant et que l'on ne peut encourager l'emploi de préfixes avec le nombre « 1 ». Aucune recommandation sur la question ne sera proposée au CIPM en vue de la prochaine CGPM.

M. Thor présente une observation supplémentaire concernant l'emploi de l'expression « sans dimension » dans la « remarque » de la page 15 (page 71 en anglais) de la 5<sup>e</sup> édition de la brochure. Bien que largement utilisée, cette expression n'est pas cohérente car elle se rapporte à des grandeurs de dimension 1 et non à des grandeurs sans dimension. Le président est d'accord pour dire que l'emploi de l'expression « sans dimension » est incorrect et, après une brève discussion, il nomme un petit groupe de travail comportant MM. de Boer, Quinn, Thor et Giacomo pour rédiger un projet de nouvelle rédaction de cette remarque. Ce projet figure dans le document CCU/90-19. Après une brève discussion de la proposition et quelques modifications rédactionnelles mineures, le CCU adopte les textes suivants :

p. 15

*Grandeurs exprimées par des nombres purs.* — Certaines grandeurs, dites sans dimension, comme par exemple l'indice de réfraction, la perméabilité relative ou le facteur de frottement, sont définies par le rapport de deux grandeurs comparables. De telles grandeurs ont un produit de dimensions — ou dimension — égal à 1 et sont donc exprimées par des nombres purs. L'unité cohérente est alors le rapport de deux unités SI égales et peut être exprimée par le nombre 1.

p. 71

*Quantities expressed as pure numbers.* — Certain so-called dimensionless quantities, as for example refractive index, relative permeability, or friction factor, are defined as the ratio of two comparable quantities. Such quantities have a dimensional product — or dimension — equal to 1 and are therefore expressed by pure numbers. The coherent SI unit is then the ratio of two identical SI units and may be expressed by the number 1.

## 5. Noms spéciaux pour des unités SI

Le président fait part aux membres du CCU de la réception d'une lettre envoyée par des étudiants d'une école de l'Indiana proposant d'honorer le nom de Galilée et de simplifier l'écriture de  $\text{kg m s}^{-1}$  en

introduisant un nom spécial et un symbole pour l'unité de quantité de mouvement ; il suggère que l'on réponde aux étudiants en leur rappelant qu'une décision antérieure s'oppose à l'attribution de nouveaux noms spéciaux à des unités. Les membres du CCU sont d'accord. M. Taylor indique qu'au nom du NIST, il a répondu à une lettre concernant ce sujet et provenant de la même école.

## 6. Autres questions

### 6.1. Définition de l'ampère (Document CCU/90-9)

Le Comité national de Tchécoslovaquie estime nécessaire de rendre la définition de l'ampère plus précise en ajoutant les mots « chacun des » (en anglais « each of ») dans la première ligne de la définition pour lire :

« ... maintenu dans *chacun des* deux conducteurs parallèles... »

« ... if maintained in *each of* two straight parallel conductors... ».

Une brève discussion conclut qu'il est clair dans la définition telle qu'elle est actuellement que le même courant passe dans les deux conducteurs et qu'aucune modification n'est nécessaire. Il est convenu que le président enverra une lettre à M. Krivy du Comité national de Tchécoslovaquie donnant l'explication.

M. Thor indique qu'il y a un problème dans la dernière ligne de la définition de l'ampère (à la page 10 de la brochure pour le français et à la page 66 pour l'anglais). En particulier, la phrase « ... force égale à  $2 \times 10^{-7}$  newton par mètre de longueur... » devrait être « ... force *linéique* égale à  $2 \times 10^{-7}$  newton par mètre... ». Personne n'appuie cette suggestion et la définition est considérée comme bien comprise telle qu'elle est rédigée.

Un autre problème éventuellement posé par la définition de l'ampère est mentionné et le président n'y donne pas suite en estimant que de telles considérations devraient être présentées sous forme de propositions écrites.

### 6.2. Expression « unité SI » (Document CCU/90-10)

M. Mills introduit la discussion sur la question posée dans le document CCU/90-10 concernant l'emploi de l'expression « unité SI » pour les multiples et sous-multiples des unités SI cohérentes, par exemple le millimètre et le volt par centimètre. Une interprétation stricte de la 5<sup>e</sup> édition de la brochure, à la page 8, implique que les multiples et sous-multiples des unités SI cohérentes ne sont pas, eux, des unités SI.

M. Mills recommande de modifier le texte de la brochure afin d'éviter cette difficulté ; plus précisément, il propose que les adjectifs « cohérent », « multiple » et « sous-multiple » soient employés, quand il convient, avec l'expression « unité SI ».

M. Thor mentionne que ce problème a été résolu en Suède en utilisant l'expression « unité du système SI » pour tous les cas autres que les unités SI telles qu'elles sont formellement définies dans la brochure. Ainsi, le centimètre et le gramme ne sont pas des unités SI mais sont des unités du Système international d'unités (ou unités du SI).

Au cours de la discussion qui suit le CCU est d'accord pour dire que cette approche est cohérente avec la brochure telle qu'elle est actuellement. Le Système international d'unités, avec l'abréviation internationale SI (voir Résolution 12 de la 11<sup>e</sup> CGPM, pages 31 et 32 de la brochure) comprend les unités de base, les noms des multiples et sous-multiples formés à l'aide de préfixes, les unités supplémentaires, les unités dérivées et toutes les règles qui ont été établies. Les « unités SI », telles qu'elles sont définies dans la brochure (unités de base, unités dérivées et unités supplémentaires), font partie du SI. Le système complet comporte aussi les unités qui sont des multiples et des sous-multiples des unités SI ; toutes ces unités sont des « unités du SI ».

### 6.3. Le « wattheure » (Document CCU/90-5)

M. Tarbéev demande un changement du statut de l'unité « wattheure », et de ses multiples et sous-multiples car ils peuvent être employés dans des domaines techniques qui ne sont pas appropriés. Dans le cours de la discussion qui suit, le CCU est dans l'ensemble d'accord pour dire qu'il peut y avoir des problèmes et que des dispositions devraient être prises par le Comité technique 25 de la CEI et l'ISO/TC 12 pour restreindre l'emploi du « wattheure » et de ses multiples et sous-multiples. Le président déclare que le compte rendu de la session doit mentionner le fait que le CCU n'approuve pas l'utilisation sans restriction du « wattheure », de ses multiples et de ses sous-multiples et, de plus, que le CCU encourage la CEI et l'ISO à prendre les mesures nécessaires pour éviter un emploi sans restriction de ces unités.

### 6.4. Plan pour la révision de la brochure

Le président demande au CCU de signaler par écrit les commentaires qui relèvent par nature purement de l'édition (ponctuation, etc.) et de limiter le reste de la discussion aux questions de fond.

Se référant au paragraphe II.4, sous-paragraphe a) de la page 16 (page 72 de la version en anglais), M. Thor mentionne que l'emploi du point sur la ligne pour indiquer un produit a été supprimé par l'ISO

et il suggère qu'il soit supprimé aussi dans la brochure. Cette suggestion est acceptée.

M. Taylor demande que les valeurs des constantes (tableau 9 de la 5<sup>e</sup> édition, page 19 de la version française et page 75 de la version anglaise) soient mises à jour.

M. Taylor suggère aussi que l'on envisage de supprimer dans le tableau 10 (page 20 de la version en français et page 76 de la version en anglais) quelques unités « maintenues temporairement ». Au cours de la discussion qui suit le röntgen, l'ångström, le barn, le nœud et le mille marin sont mentionnés. Il est suggéré que l'ISO enquête sur le statut et l'utilisation de ces unités et fasse part au CCU du résultat de son enquête. M. Thor déclare que l'ISO/TC 12 est prêt à effectuer une telle enquête. Le CCU ne prend aucune décision sur cette question pour le moment.

### **6.5. Uniformité internationale et traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques (Document CCU/90-13)**

M. Quinn ouvre la discussion par la lecture du document (CCU/90-13) qu'il a préparé. Ce document propose que le CIPM ait une action dans le domaine et il sollicite l'avis du CCU sur la question. Au cours de la discussion qui suit on fait remarquer que le problème est vaste par nature et qu'il relèverait d'un comité international comportant des représentants des grands laboratoires nationaux. M. Tarbéev se dit favorable à la proposition du BIPM et parle des méthodes de référence actuellement en usage à l'Institut Mendéléev. M. Tarbéev exprime aussi le désir de participer au groupe de travail organisé sous l'égide du CIPM. L'ensemble des participants est favorable à cette suggestion et le président en fera part au CIPM.

### **Clôture de la session**

L'ordre du jour est épuisé. Pour terminer certains membres expriment le vœu de voir le CCU se réunir plus souvent (peut-être tous les trois ans). Le président remercie les membres du CCU pour leur coopération et M. Quinn pour l'hospitalité du BIPM.

M. German, se faisant le porte-parole de tous les participants, remercie le président pour l'efficacité pleine d'expérience avec laquelle il a dirigé la session.

Octobre 1990

## ANNEXE U 1

---

### Documents de travail présentés à la 10<sup>e</sup> session du CCU

---

Document  
CCU/

- 90-1 Proposals for modifications to Appendix II of the SI brochure (document préparé par J. de Boer et T. J. Quinn).
- 90-2 ISO. — Symbol for the unit litre, lettre du 3 novembre 1989 du Secrétariat de l'ISO/TC 12.
- 90-3 CEI/Comité technique N° 25. — Proposition faite à l'ISO/TC 12 pour soumission conjointe au CCU : Use of prefixes when expressing values of « dimensionless » quantities (quantities of dimension one).
- 90-4 UICPA. — The need to extend the SI prefixes for multiples and submultiples, par I.M. Mills.
- 90-5 VNIIM (URSS). — Proposals from the USSR for the revision of the « watt hour » unit status and withdrawal of the physical quantity « dipole magnetic moment » from ISO and IEC documents, par Yu. V. Tarbéev.
- 90-6 ASMO (Arab Organization for Standardization and Metrology). — Lettre du 21 juillet 1988 du Secrétaire général au sujet du symbole du litre.
- 90-7 UIPPA/Commission C2. — Concerning the litre.
- 90-8 The Royal Society of Chemistry/Journals Department. — Symbol allowing the use of SI prefixes in the expression of numbers : a proposal (texte d'une enquête).
- 90-9 Comité national tchécoslovaque pour l'organisation. — Lettre du 31 mai 1990 proposant une modification de la définition de l'ampère.

- 90-10 UICPA. — Lettre du 28 mai 1990 proposant quelques modifications à la brochure sur le SI, par I. M. Mills.
- 90-11 16<sup>e</sup> CGPM. — Texte de la Résolution 6 : « **Litre** (symboles) ».
- 90-12 CIE/Division 2. — Effects of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) on CIE Documentary Standards for Radiometry, Photometry and Colorimetry, par K. D. Mielenz et J. J. Hsia..
- 90-13 BIPM. — International uniformity and traceability in chemical and physico-chemical measurements : a proposal for action by the CIPM, par T. J. Quinn.
- 90-14 Remarks concerning item 4 (Symbole pour l'unité des grandeurs de dimension 1), par J. de Boer.
- 90-15 Proposals for modification to Appendix II of the SI brochure, par R. J. Bell.
- 90-16 VNIIM (URSS). — Proposals for changes in the text of the 6th edition of the SI brochure (USSR), par V. A. Scheglov.
- 90-17 NPL. — Comments about Section 5 of the draft of Appendix II of the SI brochure (copie d'un document interne de R. L. Rusby adressé à R. J. Bell).
- 90-18 Liste des symboles utilisés pour les unités et les préfixes, préparée par J. de Boer.
- 90-19 Texte révisé (français et anglais) du paragraphe « *Grandeurs exprimées par des nombres purs* » pour la 6<sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI.
-





# COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS

MEETING IN 1990

---

## **Note on the use of the English text**

To make its reports and those of its various Comités Consultatifs more widely accessible the Comité International des Poids et Mesures has decided to publish an English version of these reports. Readers should note that the official record is always that of the French text. This must be used when an authoritative reference is required or when there is doubt about the interpretation of the text.

## **Note sur l'utilisation du texte anglais**

Afin de faciliter l'accès à ses rapports et à ceux des divers comités consultatifs, le Comité international des poids et mesures a décidé de publier une version en anglais de ces rapports. Le lecteur doit cependant noter que le rapport officiel est toujours celui qui est rédigé en français. C'est le texte français qui fait autorité si une référence est nécessaire ou s'il y a doute sur l'interprétation.



---

## THE BIPM AND THE CONVENTION DU MÈTRE

---

The Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) was set up by the Convention du Mètre signed in Paris on 20 May 1875 by seventeen States during the final session of the Diplomatic Conference of the Metre. This Convention was amended in 1921.

BIPM has its headquarters near Paris, in the grounds (43 520 m<sup>2</sup>) of the Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) placed at its disposal by the French Government; its upkeep is financed jointly by the Member States of the Convention du Mètre\*.

The task of BIPM is to ensure world-wide unification of physical measurements; it is responsible for:

- establishing the fundamental standards and scales for measurement of the principal physical quantities and maintaining the international prototypes;
- carrying out comparisons of national and international standards;
- ensuring the co-ordination of corresponding measuring techniques;
- carrying out and co-ordinating determinations relating to the fundamental physical constants that are involved in the above-mentioned activities.

BIPM operates under the exclusive supervision of the Comité International des Poids et Mesures (CIPM) which itself comes under the authority of the Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM).

The Conférence Générale consists of delegates from all the Member States of the Convention du Mètre and meets at present every four years. At each meeting it receives the Report of the Comité International on the work accomplished, and it is responsible for:

- discussing and instigating the arrangements required to ensure the propagation and improvement of the International System of Units (SI), which is the modern form of the metric system;
- confirming the results of new fundamental metrological determinations and the various scientific resolutions of international scope;
- adopting the important decisions concerning the organization and development of BIPM.

The Comité International consists of eighteen members each belonging to a different State; it meets at present every year. The officers of this committee issue an Annual Report on the administrative and financial position of BIPM to the Governments of the Member States of the Convention du Mètre.

The activities of BIPM, which in the beginning were limited to the measurements of length and mass and to metrological studies in relation to these quantities, have been extended to standards of measurement for electricity (1927), photometry (1937), ionizing radiations (1960) and to time scales (1988). To this end the original laboratories, built in 1876-1878, were enlarged in 1929 and two new buildings were constructed in 1963-1964 for the ionizing radiation laboratories.

---

\* As of 31 December 1990 forty-six States were members of this Convention: Argentina (Rep. of), Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Cameroon, Canada, Chile, China (People's Rep. of), Czechoslovakia, Denmark, Dominican Republic, Egypt, Finland, France, Germany, Hungary, India, Indonesia, Iran, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea (Dem. People's Rep.), Korea (Rep. of), Mexico, Netherlands, Norway, Pakistan, Poland, Portugal, Romania, Spain, South Africa, Sweden, Switzerland, Thailand, Turkey, U.S.S.R., United Kingdom, U.S.A., Uruguay, Venezuela, Yugoslavia.

Some forty physicists or technicians are working in the BIPM laboratories. They are mainly conducting metrological research, international comparisons of realizations of units and the checking of standards used in the above-mentioned areas. An annual report published in *Procès-Verbaux des séances du Comité International* gives the details of the work in progress.

In view of the extension of the work entrusted to BIPM, CIPM has set up since 1927, under the name of *Comités Consultatifs*, bodies designed to provide it with information on matters that it refers to them for study and advice. These *Comités Consultatifs*, which may form temporary or permanent Working Groups to study special subjects, are responsible for co-ordinating the international work carried out in their respective fields and proposing recommendations concerning units. In order to ensure world-wide uniformity in units of measurement, the *Comité International* accordingly acts directly or submits proposals for sanction by the *Conférence Générale*.

The *Comités Consultatifs* have common regulations (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 31, 1963, p.97). Each *Comité Consultatif*, the chairman of which is normally a member of CIPM, is composed of delegates from the major metrology laboratories and specialized institutes, a list of which is drawn up by CIPM, as well as individual members also appointed by CIPM and one representative of BIPM. These committees hold their meetings at irregular intervals; at present there are eight of them in existence:

1. The *Comité Consultatif d'Électricité (CCE)*, set up in 1927.
2. The *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR)*, new name given in 1971 to the *Comité Consultatif de Photométrie* set up in 1933 (between 1930 and 1933 the preceding committee (CCE) dealt with matters concerning Photometry).
3. The *Comité Consultatif de Thermométrie (CCT)*, set up in 1937.
4. The *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM)*, set up in 1952.
5. The *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS)*, set up in 1956.
6. The *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI)*, set up in 1958. In 1969 this committee established four sections: Section I (Measurement of X and  $\gamma$  rays, electrons); Section II (Measurement of radionuclides); Section III (Neutron measurements); Section IV ( $\alpha$ -energy standards). In 1975 this last section was dissolved and Section II made responsible for its field of activity.
7. The *Comité Consultatif des Unités (CCU)*, set up in 1964 (this committee replaced the « Commission for the System of Units » set up by the CIPM in 1954).
8. The *Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM)*, set up in 1980.

The proceedings of the *Conférence Générale*, the *Comité International*, the *Comités Consultatifs*, and the *Bureau International* are published under the auspices of the latter in the following series:

- *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* (this collection for private distribution brings together articles published in scientific and technical journals and books, as well as certain work published in the form of duplicated reports).

The *Bureau International* also publishes monographs on special metrological subjects and, under the title « Le Système International d'Unités (SI) », a booklet, periodically up-dated, in which all the decisions and recommendations concerning units are collected.

The collection of the *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 volumes published between 1881 and 1966) ceased in 1966 by a decision of CIPM.

Since 1965 the international journal *Metrologia*, edited under the auspices of CIPM, has published articles on the more important work on scientific metrology carried out throughout the world, on the improvement in measuring methods and standards, on units, etc., as well as reports concerning the activities, decisions, and recommendations of the various bodies created under the *Convention du Mètre*.

---



AGENDA  
for the 10th Meeting

---

1. Preparation of the 6th edition of the SI brochure.
  2. Symbol for the litre.
  3. Symbols for prefixes.
  4. Symbol for the unit of quantities of dimension 1.
  5. Special names for SI units.
  6. Miscellaneous.
-

---

REPORT  
OF THE  
COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS  
(10th Meeting — 1990)  
TO THE  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

by A. O. McCoubrey, rapporteur

---

The Comité Consultatif des Unités (CCU) held its 10th meeting at the Bureau International des Poids et Mesures, at Sèvres ; four sessions took place on 10th and 11th July 1990.

Present :

J. DE BOER, Member of CIPM, President of the CCU.

Delegates from the laboratories and member organizations :

International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU] (A. ALLISY).

International Electrotechnical Commission [IEC]: Technical Committee 25 (A. O. McCoubrey, A. J. THOR).

International Organization for Legal Metrology [OIML] (R. GALLE).

International Organization for Standardization [ISO]: Technical Committee 12 (A. J. THOR).

International Union of Pure and Applied Chemistry [IUPAC]: Commission STU (I. M. MILLS).

International Union of Pure and Applied Physics [IUPAP]: Commission SUN-AMCO (B. W. PETLEY).

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg (B. N. TAYLOR).

National Physical Laboratory [NPL], Teddington (R. J. BELL).

National Research Council of Canada [NRC], Ottawa (G. HANES).

National Research Laboratory of Metrology [NRLM], Tsukuba (K. MITSUI).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig (S. GERMAN).

USSR State Committee for Standards [GOST]: VNIIM, Leningrad (Yu. V. TARBEEV, A. DIATLEV).

*Members ad personam :*

H. H. JENSEN, Copenhagen  
M. L. McGLASHAN, London  
L. VILLENA, Madrid.

The Director of the BIPM (T. J. QUINN).

Also present : P. GIACOMO (Director Emeritus of the BIPM),  
D. A. BLACKBURN (BIPM).

Absent : International Commission on Illumination [CIE]; National  
Institute of Metrology [NIM], Beijing.

The President welcomed the participants and made the introductions.

Mr McCoubrey was appointed rapporteur to be assisted by  
Mr Blackburn as Secretary.

The draft agenda was adopted and under agenda item 6 (Miscellaneous)  
specific matters to be considered were proposals concerning : the revision  
of the watt hour unit status ; the definition of the ampere ; use of the  
name « SI unit » ; and international uniformity and traceability in  
chemical and physico-chemical measurements. One proposal, concerning  
the dipole magnetic moment, was not addressed because IEC \* and ISO  
are the appropriate organizations to deal with this topic.

## **1. Preparation of the 6th edition of the SI brochure**

A number of changes in Appendix II of the SI brochure, *Practical realization of the definitions of some important units*, are required because of recent decisions of the CIPM concerning the representations of the volt and the ohm, the adoption of the ITS-90 and the interpretation of the definition of the kilogram for the third periodic verification as well as the need for certain clarifications regarding the unit of time and time scales. A draft of the proposed changes, prepared in advance by J. de Boer and T. J. Quinn, was distributed before the meeting as working document CCU/90-1 ; this document was replaced during the meeting by CCU/90-1 (revised) incorporating changes resulting from the initial discussion. Referring to the corresponding parts of Appendix II in the 5th edition, the changes considered were :

---

(\*) See the list of acronyms on page v.

## Mass

Mr Bell distributed comments on the draft document prepared at NPL (document CCU/90-15) and Mr German also gave written comments to the President. After a short discussion of these comments and others the following text was adopted by the CCU :

« The unit of mass, the kilogram, is the mass of the international prototype of the kilogram kept at the BIPM. The masses of 1 kg secondary standards of platinum-iridium or of stainless-steel are compared with the mass of the prototype by means of balances whose precision can reach 1 in  $10^8$  or better. In the case of stainless-steel standards, the accuracy of comparison depends upon the accuracy with which the correction due to air-buoyancy is known.

By an easy operation a series of masses can be standardized to obtain multiples and sub-multiples of the kilogram.

Measurements made using balances having accuracies of about  $1\ \mu\text{g}$  have shown that the international prototype of the kilogram, in common with other platinum-iridium kilogram standards, increases in mass by about  $1\ \mu\text{g}$  per month in the few months following cleaning and washing using the established BIPM procedure. At its meeting in 1989 the CIPM therefore stated (*BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures*, 57, 1989, p. 16) that for the purposes of the third periodic verification of national prototypes of the kilogram then in progress, the 1889 definition of the kilogram should be interpreted as referring to the mass of the international prototype just after cleaning and washing using the BIPM procedure and that this mass should be deduced by extrapolation. For the purposes of clarity the CIPM stated that this did not constitute a redefinition of the kilogram. » (\*)

Responding to a question by Mr Taylor, Mr Quinn stated that BIPM does not use capital letters in English language text when referring to the international prototype kilogram or corresponding standards for other base units of the SI. In this connection BIPM tends to use the conventions of the French language in both languages.

---

(\*) The CIPM at its meeting held in September 1990 decided to delete this paragraph from the text approved for the 6th edition of the SI brochure considering that taken out of context it could be misinterpreted.

## Time

During the discussion of the document CCU/90-1, Mr German pointed out that accuracy values should be based on stated values of uncertainty and he suggested that the values given be revised to be more in accordance with the present state of the technology. It was also decided that, somewhere in the text (to be determined later) there would be a statement that all uncertainty values correspond to one standard deviation. Some clarification of the next to last paragraph (comparing the value of the TAI second for clocks on the surface of the Earth and at 2 000 m altitude) was also found to be necessary. The CCU adopted the following text :

### *Unit of time, frequency*

« Some research laboratories are able to construct the equipment required to produce electric oscillations at a frequency whose relationship to the transition frequency of the atom of caesium 133 which defines the second is known. It is possible thus to obtain both the second and pulses at desired frequencies, 1 Hz, 1 kHz, etc. In the best equipment, the uncertainty is at present estimated to be a few parts in  $10^{14}$  for averages extending over periods from a few hours to a few days. Commercial caesium-beam time standards are also available having uncertainties of about 3 parts in  $10^{12}$ .

There exist very stable clocks and frequency generators besides those using caesium, including the hydrogen maser, and rubidium and quartz clocks. Their frequencies have to be standardized by comparison with a caesium time standard, either directly or by means of radio transmissions. Some of these transmissions emit signals whose frequencies are known with uncertainties (standard deviations) from 1 part in  $10^{11}$  to 5 parts in  $10^{13}$ . These transmissions cover the whole surface of the Earth, but reception may sometimes be difficult owing to uneven propagation. When a higher accuracy is required it is better to use time comparisons, as explained below. »

### *Time scales*

« Some caesium-beam standards made in national laboratories operate continuously as time standards. However, many national time services use continuously-running commercial caesium standards that are maintained under careful environmental control. Since 1969 it has been possible to compare these various instruments, over intercontinental distances, with uncertainties of only a few hundred nanoseconds. It has thus been possible to establish a mean atomic-time scale sufficiently secure for it to

serve as the basis of the world's time reference. This scale, approved by Resolution 1 of the 14th CGPM in 1971, was given the name International Atomic Time (TAI)<sup>(1)</sup>. Through the use of the satellite system « Global Positioning System » (GPS) TAI is now accessible worldwide to within about twenty nanoseconds.

TAI is not directly distributed. Time signals broadcast by radio waves are given on a time scale called Coordinated Universal Time (UTC) as recommended by the 15th CGPM (Resolution 5) in 1975. UTC is defined in such a manner that it differs from International Atomic Time (TAI) by a whole number of seconds. The difference  $UTC - TAI$  was set equal to  $- 10$  s starting the first of January 1972, the date of application of the reformulation of UTC which previously involved a frequency offset ; this difference can be modified by 1 second by the use of a positive or negative leap second at the end of a month of UTC, preferably in the first instance at the end of December or of June, and in the second instance at the end of March or of September, in order to keep UTC in agreement with the time defined by the rotation of the Earth with an approximation better than  $0,9$  s<sup>(2)</sup>. Furthermore, the legal times of most countries are offset from UTC by a whole number of hours (time zones and « summer » time).

National time-service laboratories maintain an approximation to UTC known as UTC(k) for laboratory k. The differences between UTC(k) and UTC are in general no more than a few microseconds as was recommended by Recommendation 1 (CI-1989).

The precision and accuracy of time measurement sometimes require relativistic effects to be taken into account. The definition of the second must be understood as the definition of the unit of proper time, i.e., strictly speaking the user must be in the neighbourhood of the clock and at rest with respect to it. In general, within the expanse of a laboratory, only the effects of special relativity are significant, if the clock is in the laboratory. But, in applications which bring into play distant clocks, it may be necessary to take general relativity into account. In particular, TAI is based upon a worldwide network of clocks and its definition has been completed as follows (declaration of the CCDS : *BIPM Com. Cons. Déf. Seconde*, 9, 1980, p. S 15) :

*« TAI is a coordinate time scale defined in a geocentric reference frame with the SI second as realized on the rotating geoid as the scale unit ».*

---

<sup>(1)</sup> See page 110, for the definition of TAI given by CIPM at the request of the 14th CGPM (1971, Resolution 1).

<sup>(2)</sup> The difference  $UTC - TAI$  was  $- 26$  s on 1 January 1991.

For all clocks fixed in relation to the Earth, situated at sea level, the scale unit of TAI has a time interval equal to that of the unit of time as realized locally, but compared to a clock at 2 000 m altitude, for example, the scale unit of TAI appears to be longer by  $2,2 \times 10^{-13}$  s. In long-distance time links using geostationary satellites, the relativistic effect can reach a few hundred nanoseconds.

The scale unit of TAI (and that of UTC) conforms to its definition to within  $2$  or  $3 \times 10^{-14}$  s averaged over 10 or 20 days. By means of the signals emitted by GPS satellites, TAI and the time scale of a local clock may be compared so that the frequency of the local clock can be established to within 2 or 3 parts in  $10^{14}$ . »

## Electrical quantities

At the opening of the discussion of the proposed text in document CCU/90-1 on electrical quantities, Mr Tarbeev distributed an additional document, CCU/90-16, giving the views of USSR experts. In order to take into account these comments and other details that would emerge during the discussion, the President appointed a special working group consisting of Mr Tarbeev, Mr Taylor, Mr Petley and Mr Quinn with instructions to revise the text during the next break in the meeting.

Mr McGlashan pointed out that the use of the term « electrical watt » (in the proposed text) tends to create the mistaken impression that there is more than one kind of watt. It was generally agreed that this possibility must be avoided and the word « watt » should be used without qualification. There was also some discussion of the need to avoid any implication that the use of the Josephson and quantum Hall effects is associated with the definition of the electrical base unit or standards that are used as the physical realization of these definitions. In this connection, it was decided that in the proposed text the term « standards » should be replaced by « laboratory reference standards ».

In connection with Resolution 6 (18th CGPM, 1987), the President noted that it should be printed in Appendix II : *Practical realization of the definitions of some important units* in order to avoid the possibility that this Resolution would be associated with any change in the definition of a unit.

During the discussion of the last two paragraphs of the text on electrical quantities Mr Taylor stated that the use of quotation marks in sub-paragraphs (1) and (2) is not correct because exact quotations are not given. There was general agreement with this comment and the CCU decided that either exact quotations would be printed or italics would be used instead of quotation marks.

The special working group appointed at the beginning of the discussion having presented a revised version of document CCU/90-1, the President returned to the general discussion of the text for electrical quantities and reviewed the proposed changes. After a small number of additional editorial changes the CCU adopted the following text for the brochure :

« The realization to high accuracy of the ampere (a base unit of the SI), the ohm and the volt directly in terms of their definitions is difficult and time consuming. The best such realizations of the ampere are now obtained through combinations of realizations of the watt, the ohm and the volt. The watt realized electrically is compared by beam-balance experiments with the watt realized mechanically. These experiments employ a coil in a magnetic field and are devised in such a way that it is not necessary to know either the dimensions of the coil or the magnitude of the magnetic field. The ohm is realized using a Thompson-Lampard capacitor whose value can be changed by an amount that depends only on the magnitude of a linear displacement of a guard electrode. The volt is realized by means of a balance in which an electrostatic force is measured in terms of a mechanical force. The ampere may thus be deduced from combinations of any two of these units. The uncertainty in the value of the ampere obtained in this way is estimated to be a few parts in  $10^7$ . The ampere, ohm and volt may also be determined from measurements of various combinations of physical constants. Laboratory reference standards for the volt and the ohm based upon the Josephson and quantum-Hall effects are, however, significantly more reproducible and stable than a few parts in  $10^7$ . In order to take advantage of these highly stable methods of maintaining laboratory reference standards of the electrical units while at the same time taking care not to change their SI definitions, the 18th CGPM in 1987 adopted Resolution 6.

Forthcoming adjustment to the representations of the volt and of the ohm

RESOLUTION 6

The 18th Conférence Générale des Poids et Mesures,

*considering*

— that world-wide uniformity and long-term stability of national representations of the electrical units are of major importance for science, commerce and industry from both the technical and economic points of view,

— that many national laboratories use the Josephson effect and are beginning to use the quantum Hall effect to maintain, respectively, representations of the volt and of the ohm, as these offer the best guarantees of long-term stability,

— that because of the importance of coherence among the units of measurement of the various physical quantities the values adopted for these representations must be as closely as possible in agreement with the SI,

— that the results of recent and current experiment will permit the establishment of an acceptable value, sufficiently compatible with the SI, for the coefficient which relates each of these effects to the corresponding electrical unit,

*invites* the laboratories whose work can contribute to the establishment of the quotient voltage/frequency in the case of the Josephson effect and of the quotient voltage/current for the quantum Hall effect to vigorously pursue these efforts and to communicate their results without delay to the Comité International des Poids et Mesures, and

*instructs* the Comité International des Poids et Mesures to recommend, as soon as it considers it possible, a value for each of these quotients together with a date for them to be put into practice simultaneously in all countries; these values should be announced at least one year in advance and would be adopted on January 1st 1990.

In 1988 the CIPM adopted Recommendations 1 (CI-1988) and 2 (CI-1988).

Representation of the volt by means of the Josephson effect

#### RECOMMENDATION 1 (CI-1988)

The Comité International des Poids et Mesures

*acting* in accordance with instructions given in Resolution 6 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures concerning the forthcoming adjustment of the representations of the volt and the ohm,

*considering*

— that a detailed study of the results of the most recent determinations leads to a value of 483 597,9 GHz/V for the Josephson constant,  $K_J$ , that is to say, for the quotient of frequency divided by the potential difference corresponding to the  $n = 1$  step in the Josephson effect,

— that the Josephson effect together with this value of  $K_J$  can be used to establish a reference standard of electromotive force having a one-standard-deviation uncertainty with respect to the volt estimated to be 4 parts in  $10^7$ , and a reproducibility which is significantly better,

*recommends*

— that 483 597,9 GHz/V exactly be adopted as a conventional value, denoted by  $K_{J-90}$ , for the Josephson constant,  $K_J$ ,

— that this new value be used from 1st January 1990, and not before, to replace the values currently in use,

— that this new value be used from this same date by all laboratories which base their measurements of electromotive force on the Josephson effect, and

— that from this same date all other laboratories adjust the value of their laboratory reference standards to agree with the new adopted value,

*is of the opinion*

— that no change in this recommended value of the Josephson constant will be necessary in the foreseeable future, and

*draws the attention* of laboratories to the fact that the new value is greater by 3,9 GHz/V, or about 8 parts in  $10^6$ , than the value given in 1972 by the Comité Consultatif d'Électricité in its Declaration E-72.

## Representation of the ohm by means of the quantum Hall effect

### RECOMMENDATION 2 (CI-1988)

The Comité International des Poids et Mesures,

*acting* in accordance with instructions given in Resolution 6 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures concerning the forthcoming adjustment of the representations of the volt and the ohm,

*considering*

— that most existing laboratory reference standards of resistance change significantly with time,

— that a laboratory reference standard of resistance based on the quantum Hall effect would be stable and reproducible,

— that a detailed study of the results of the most recent determinations leads to a value of  $25\,812,807\ \Omega$  for the von Klitzing constant,  $R_K$ , that is to say, for the quotient of the Hall potential difference divided by current corresponding to the plateau  $i = 1$  in the quantum Hall effect,

— that the quantum Hall effect, together with this value of  $R_K$ , can be used to establish a reference standard of resistance having a one-standard-deviation uncertainty with respect to the ohm estimated to be 2 parts in  $10^7$ , and a reproducibility which is significantly better,

*recommends*

— that  $25\,812,807\ \Omega$  exactly be adopted as a conventional value, denoted by  $R_{K-90}$ , for the von Klitzing constant,  $R_K$ ,

— that this value be used from 1st January 1990, and not before, by all laboratories which base their measurements of resistance on the quantum Hall effect,

— that from this same date all other laboratories adjust the value of their laboratory reference standards to agree with  $R_{K-90}$ ,

— that in the use of the quantum Hall effect to establish a laboratory reference standard of resistance, laboratories follow the most recent edition of the technical guidelines for reliable measurements of the quantized Hall resistance drawn up by the Comité Consultatif d'Électricité and published by the Bureau International des Poids et Mesures, and

*is of the opinion*

— that no change in this recommended value of the von Klitzing constant will be necessary in the foreseeable future.

The CCE at its meeting in 1988 considered very carefully the way in which the recommended conventional values  $K_{J-90}$  and  $R_{K-90}$  should be used and made additional statements to clarify these implications of the Recommendations. These statements may be summarized as follows :

(1) Recommendations 1 (CI-1988) and 2 (CI-1988) do not constitute a redefinition of SI units. The conventional values  $K_{J-90}$  and  $R_{K-90}$

cannot be used as bases for defining the volt and the ohm (meaning the present units of electromotive force and electrical resistance in the *Système International d'Unités* (SI)). To do so would change the status of  $\mu_0$  from that of a constant having an exactly defined value (and would therefore abrogate the definition of the ampere) and would also produce electrical units which would be incompatible with the definition of the kilogram and units derived from it.

(2) Concerning the use of subscripts on symbols for quantities or units, the CCE considers that symbols for electromotive force (electric potential, electric potential difference) and electric resistance, and for the volt and the ohm, should not be modified by adding subscripts to denote particular laboratories or dates.

These statements were subsequently supported by the CIPM at its 78th Meeting in 1988. »

## Temperature

At the opening of the discussion of the proposed text in document CCU/90-1 Mr Bell distributed an additional document, CCU/90-17, containing the comments of his colleague, Mr Rusby, at NPL. Mr Tarbeev requested consideration of a change in the note under the definition of the unit of thermodynamic temperature on page 66, paragraph *e*) of the 5th edition of the SI brochure, as proposed by USSR experts on temperature in document CCU/90-16 that was distributed earlier. This change would affect the defining equation for Celsius temperature.

In the discussion of the proposal of Mr Tarbeev, Mr McGlashan stated that confusion would be caused by such a change related to an established definition and, further, ISO had followed the note as now stated in the existing definition. There was no support for the proposed change and it was decided that the note on page 66, paragraph *e*) of the 5th edition of the brochure will stand as it is.

The text adopted by CCU for the 6th edition of the brochure is given as follows :

« Direct measurements of thermodynamic temperature can only be made by using one of only a small number of so-called primary thermometers. These are thermometers whose equation of state can be written down explicitly without having to introduce unknown temperature-dependent constants. Primary thermometers that have been used to provide accurate values of thermodynamic temperature include the constant-volume gas thermometer, the acoustic gas thermometer, the spectral and total radiation

thermometers and the electronic noise thermometer. Uncertainties of 1 or 2 millikelvins have been achieved with such thermometers up to about 373 K beyond which the uncertainties increase progressively. The use of such thermometers to high accuracy is difficult and time-consuming and there exist secondary thermometers, such as the platinum resistance thermometer, whose reproducibility can be of the order of ten times better than that of any primary thermometer. In order to allow the maximum advantage to be taken of these secondary thermometers the CGPM has, from time to time, adopted successive versions of an international temperature scale. The first of these was the International Temperature Scale of 1927 (ITS-27); this was replaced by the International Practical Temperature Scale of 1948 (IPTS-48) which in turn was replaced by the International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68). In 1976 the CIPM adopted, for use at low temperatures, the 1976 Provisional 0,5 K to 30 K Temperature Scale (EPT-76). On 1 January 1990 the IPTS-68 and the EPT-76 were replaced by the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) adopted by the CIPM in 1989 in its Recommendation 5 (CI-1989).

The International Temperature Scale of 1990

#### RECOMMENDATION 5 (CI-1989)

The Comité International des Poids et Mesures (CIPM) acting in accordance with Resolution 7 of the 18th Conférence Générale des Poids et Mesures (1987) has adopted the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) to supersede the International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68).

The CIPM *notes* that, by comparison with the IPTS-68, the ITS-90

— extends to lower temperatures, down to 0,65 K, and hence also supersedes the EPT-76,

— is in substantially better agreement with corresponding thermodynamic temperatures,

— has much improved continuity, precision and reproducibility throughout its range and

— has subranges and alternative definitions in certain ranges which greatly facilitate its use.

The CIPM also *notes* that, to accompany the text of the ITS-90 there will be two further documents, the Supplementary Information for the ITS-90 and Techniques for Approximating the ITS-90. These documents will be published by the BIPM and periodically updated.

The CIPM *recommends*

— that on 1 January 1990 the ITS-90 come into force and

— that from this same date the IPTS-68 and the EPT-76 be abrogated.

The ITS-90 extends upwards from 0,65 K to the highest temperature measurable using an optical pyrometer. The Scale is defined in terms of the helium vapour-pressure equations from 0,65 K to 5 K, interpolating constant-volume gas thermometers from 3 K to 24,5561 K, platinum resistance thermometers from 13,8033 K to 961,78 °C and the Planck radiation law at higher temperatures, together with a set of defining fixed points and methods of interpolating between them. These defining fixed points are the temperatures assigned by agreement to a number of experimentally realizable thermodynamic states. In several ranges of temperature more than one definition of  $T_{90}$ , the temperature defined by the Scale, exists. The various definitions have equal validity.

Advice on the realization and implementation of the ITS-90 is given in the two documents «Supplementary Information for the ITS-90» and «Techniques for Approximating the ITS-90» which are approved and updated periodically by the CCT and published by the BIPM.»

Before closing the discussion of point 1 the President addressed the general comment from NPL (document CCU/90-17, in the next to last paragraph) regarding the organization of the brochure. After a short discussion, Mr Bell stated his agreement that these ideas might be saved for future consideration.

## **2. Symbol for the litre**

(Document CCU/90-2)

Mr Thor expressed the interest of ISO regarding the continuing and exceptional use of two symbols, l and L, for the litre and the ISO desire that the issue be on the agenda of the 19th CGPM. In this connection, the Secretariat of ISO/TC 12 informed the CCU that it is prepared to circulate a questionnaire among its members and the international organizations in liaison with ISO/TC 12.

During an extended discussion of the use of the two symbols the President asked the members of the CCU to indicate (by a show of hands) their choice of «l» or «L» if a decision to use only one symbol were to be made now. The result was about the same for each symbol; however, a majority of the members indicated a preference for continued use of two symbols rather than deciding on either one or the other.

No significant support was expressed for the questionnaire proposed by ISO because it was expected that the results would not reveal a

clear preference for the use of one symbol or the other. It was concluded that the situation concerning the use of two symbols for the litre remains as it has been and it was decided that the CCU will not make a related proposal to the CIPM for the 19th CGPM. Mr Thor indicated that ISO/TC 12 may continue to explore possibilities for a consensus on the use of a single symbol.

### 3. Symbols for prefixes

(Documents CCU/90-4 and 90-18)

The CCU addressed the IUPAC proposal (document CCU/90-4) concerning prefixes and symbols for  $10^{+21}$ ,  $10^{+24}$ ,  $10^{-21}$  and  $10^{-24}$ . The President introduced the discussion by recalling the history of recommendations made by the previous meetings of the CCU, and he noted that a custom has evolved for :

- the choice of prefixes ending with « o » for negative powers of ten and prefixes ending with « a » for positive powers of ten, and
- the choice of small letter symbols for prefixes for negative powers of ten and capital letter symbols for prefixes for positive powers of ten.

The 4th CCU, in 1974, had suggested (but not decided) the possibility of « sepo », « seto » or « septo » as a prefix for  $10^{-21}$  and « sepa », « seta » or « septa » for  $10^{+21}$ .

After an extended discussion it was determined that the members of the CCU were in agreement with the principle of the IUPAC proposal but there were objections to symbols, such as « s », that would be the same as symbols already in use for SI units, or the letter « o », because it is too easily mistaken for the number zero. The President then deferred the discussion until the following session and, in the interim, he prepared document CCU/90-18 as a guide. During the following discussion it was noted that the units « bel », « tonne » and « unified atomic mass unit » should be added to CCU/90-18 and « Litre » should be « litre ».

Following additional discussion of a number of different possibilities for avoiding symbols that are in use for units, it was suggested that the first letters « s » and « o » in proposed prefixes might be replaced by different letters having similar sounds. The members of the CCU were generally agreed on this principle and after further discussion along this line the CCU decided as follows :

multiple	prefix	symbol	submultiple	prefix	symbol
$10^{+21}$	zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{+24}$	yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y

It was stated that the derivation of these prefixes should be noted :

The names zepto and zetta are derived from septo suggesting the number seven (the seventh power of  $10^3$ ) and the letter « z » is substituted for the letter « s » to avoid the duplicate use of the letter « s » as a symbol.

The names yocto and yotta are derived from octo, suggesting the number eight (the eighth power of  $10^3$ ); the letter « y » is added to avoid the use of the letter « o » as a symbol because it may be confused with the number zero.

#### **4. Symbol for the unit of quantities of dimension 1**

(Documents CCU/90-3, 90-8 and 90-14)

To introduce the discussion of a possible symbol, I, for the unit of quantities of dimension 1, the President reviewed document CCU/90-14 that he had prepared to summarize the results of past discussions of the topic in meetings of the CCU. Mr Thor informed the CCU that the number « 1 » was used as the symbol for all quantities of dimension 1 in the revision of ISO-31 now in progress; this action is in accordance with the note on page 71 of the 5th edition of the brochure. Mr Thor then reviewed document CCU/90-3 and noted that the document was originated by IEC/TC-25 as a proposal to ISO/TC 12 for joint action in recommending a symbol for the unit of quantities of dimension 1 to the CCU. The Advisory Panel of ISO/TC 12 did not support the symbol « I » suggested in the IEC/TC 25 proposal but agreed that a need exists and the number « 1 » may be used as a symbol; in this connection, the ISO/TC 12 recognized the problems associated with the use of prefixes with the number « 1 » used as a symbol.

Since ISO did not support the IEC proposal, the consideration of this topic as a CCU agenda item was questioned. The President ruled that an open discussion was appropriate.

During the discussion that followed, the problems associated with the use of the number « 1 » as a symbol for the unit of quantities of dimension 1 and the continuing need for a resolution of these problems were reviewed in detail. Mr Mills pointed out that, in addition to the needs that were identified in the documents for the meeting, there is a growing need in the field of biology. In connection with the use of prefixes with the number « 1 » used as a symbol it was stated that the difficulties could be avoided by the use of exponential notation; however, Mr Giacomo commented that the use of exponential notation presents problems in printing. The use of the function « dex » (corresponding to « exp »), for example, dex(- 3), was proposed. The President suggested that it is appropriate for ISO to explore such notation and it is not the function of the CCU.

Mr Jensen, noting that there is no support in ISO for the use of a symbol such as « I », recommended that it should not be adopted by the CCU and he asked whether most if not all of the problems can be solved by using the number « 1 » instead. The President stated that he thought they could and concluded the discussion by observing that a symbol cannot be adopted now and the use of prefixes with the number « 1 » cannot be supported. There is no recommendation to be made to the CIPM for the next CGPM.

Mr Thor introduced an additional point regarding the use of the term « dimensionless » in the note on page 71 (page 15 in French) of the 5th edition of the brochure. This term, while widely used, is inconsistent because it refers to quantities of dimension 1 and not to quantities without dimension. The President agreed that the use of the term « dimensionless » is incorrect and, following a brief discussion, he appointed a small working group consisting of Mr de Boer, Mr Quinn, Mr Thor and Mr Giacomo to draft a proposal for a revision of the note. The result is document CCU/90-19. After a short discussion of this proposal and some minor editorial changes the following texts were adopted by the CCU :

p. 15

*Grandeurs exprimées par des nombres purs.* — Certaines grandeurs, dites sans dimension, comme par exemple l'indice de réfraction, la perméabilité relative ou le facteur de frottement, sont définies par le rapport de deux grandeurs comparables. De telles grandeurs ont un produit de dimensions — ou dimension — égal à 1 et sont donc exprimées par des nombres purs. L'unité cohérente est alors le rapport de deux unités SI égales et peut être exprimé par le nombre 1.

p. 71

*Quantities expressed as pure numbers.* — Certain so-called dimensionless quantities, as for example refractive index, relative permeability, or friction factor, are defined as the ratio of two comparable quantities. Such quantities have a dimensional product — or dimension — equal to 1 and are therefore expressed by pure numbers. The coherent SI unit is then the ratio of two identical SI units and may be expressed by the number 1.

## 5. Special names for SI units

The President informed the CCU that a letter had been received from students of a school in Indiana proposing to memorialize the name of Galileo and to simplify writing  $\text{kg m s}^{-1}$  by introducing a special name and symbol for the unit of momentum ; he suggested that

the letter be answered by advising the students that a previous decision does not allow the creation of additional special names for units. The members of the CCU agreed. Mr Taylor stated that, on behalf of NIST, he had answered a letter concerning this subject from the same school.

## 6. Miscellaneous

### 6.1. Definition of the ampere (Document CCU/90-9)

The National Committee of Czechoslovakia considers that it is necessary to make the definition of the ampere more precise by adding the words « each of » (in French, « chacun des ») to the first line of the definition as follows :

« ....., if maintained in *each of* two straight parallel conductors..... »  
in French, « ....., maintenu dans *chacun des* deux conducteurs parallèles..... »

After a brief discussion it was agreed that it is clear in the present definition that the same current flows through both conductors and that no change is necessary. It was decided that the President would write a letter to Mr Krivy of the Czechoslovakian National Committee with an explanation.

Mr Thor stated that there is a problem in the last line of the definition of the ampere (on page 66 of the brochure in English and on page 10 in French). In particular, the phrase « ..... force equal to  $2 \times 10^{-7}$  newton per metre of length... » should read « .....force per length equal to  $2 \times 10^{-7}$  newton per metre of length... ». There was no support for addressing this issue and the definition is considered to be well understood as it stands.

The possibility of an additional problem in the definition of the ampere was mentioned and the President ruled that such considerations should be introduced in the form of written proposals.

### 6.2. The name « SI unit » (Document CCU/90-10)

Mr Mills introduced a discussion of the question outlined in document CCU/90-10 concerning the use of the name « SI unit » for multiples and submultiples of the coherent SI units, e.g., the millimetre and the volt/centimetre. A strict interpretation of the 5th edition of the brochure, page 64, implies that multiples and submultiples of coherent SI units are not, also, SI units. Mr Mills recommended a change in the text of the brochure that would help avoid the difficulty ; specifically, he proposed that the adjectives « coherent », « multiple » and « sub-multiple » be used, as appropriate, with the term « SI unit ».

Mr Thor stated that this problem has been solved in Sweden by using the phrase « unit of the SI system » for all cases other than SI units as formally defined in the brochure. Thus, the centimetre and the gram are not SI units but they are units of the International System of Units (or units of the SI).

In the discussion that followed the CCU agreed that this approach is consistent with the brochure as it now stands. The International System of Units, with the international abbreviation SI, (*see* Resolution 12 of the 11th CGPM, pages 87 and 88 of the brochure) consists of the base units, names of multiples and submultiples formed by the use of the prefixes, the supplementary units, the derived units and all the rules that have been established. The « SI units », as defined in the brochure (base units, derived units and supplementary units), are part of the SI. The complete system also includes units that are multiples and submultiples of SI units ; all of these units are « units of the SI ».

### **6.3. Consideration of the unit « watt hour » (Document CCU/90-5)**

Mr Tarbeev requested a change in the status of the unit « watt hour », and its multiples and submultiples because of the possibility that they may be used in fields of technology that are not appropriate. During the discussion that followed the CCU generally agreed that problems are possible and positive steps should be taken by IEC/TC 25 and ISO/TC 12 to restrict the use of the « watt hour » and its multiples and submultiples. The President declared that the record of the meeting should state that the CCU does not approve unrestricted use of the « watt hour », its multiples and its submultiples and, further, that the CCU encourages the IEC and the ISO to take effective steps to avoid unrestricted use of these units.

### **6.4. Plans for the revision of the brochure**

The President asked the CCU to send in comments that are strictly editorial in nature (punctuation, etc.) and to limit the remaining discussion to issues of substance.

Referring to paragraph II.4, sub-paragraph *a*) on page 72 (page 16 in French), Mr Thor explained that the use of the dot-on-the-line to form a product has been deleted by the ISO and he suggested that it be deleted in the brochure also. This was agreed.

Mr Taylor stated that the values of constants in table 9 of the 5th edition, page 75 (English) and page 19 (French), should be brought up to date.

Mr Taylor also suggested that consideration should be given to the removal of some « temporary » units from table 10 on page 76 (English) and page 20 (French). In the discussion that followed the röntgen, ångström, barn, knot and nautical mile were mentioned. It was suggested that ISO should investigate the status and use of these units and advise CCU regarding the results. Mr Thor declared that ISO/TC 12 was prepared to make such an investigation. No action was taken by the CCU at this meeting.

#### **6.5. International uniformity and traceability in chemical and physico-chemical measurements (Document CCU/90-13)**

Mr Quinn introduced this discussion by reading the document (CCU/90-13) that he had prepared. This document is a proposal for action by the CIPM and it asks for the views of the CCU. In the discussion that followed it was emphasized that the problem is global in nature and an international committee with representatives from the large national laboratories would be appropriate. Mr Tarbeev stated his support for the BIPM proposal and mentioned reference methods now in use at the Mendeleev Institute. Mr Tarbeev also expressed his desire to cooperate with the proposed Working Group organized by the CIPM. There was a general feeling of support for this idea and the President will communicate with the CIPM accordingly.

#### **Closing of the meeting**

The agenda being completed and after some final comments on the desirability of more frequent CCU meetings (perhaps every three years) the President expressed his thanks to the members of the CCU for their cooperation and to Mr Quinn for the hospitality of the BIPM.

Mr German, speaking for all the members thanked the President for his experienced and efficient conduct of the meeting.

October 1990

---



## APPENDIX U 1

---

### Working documents submitted to the CCU at its 10th meeting

---

Document  
CCU/

- 90-1 Proposals for modifications to Appendix II of the SI brochure, prepared by J. de Boer and T. J. Quinn.
- 90-2 Letter (3 November 1989) from the Secretariat of ISO/TC 12 concerning the symbols l and L for the unit litre.
- 90-3 IEC. — Proposal from IEC/TC 25 to ISO/TC 12 for submission to CCU : Use of prefixes when expressing values of « dimensionless » quantities (quantities of dimension one).
- 90-4 IUPAC. — The need to extend the SI prefixes for multiples and submultiples, by I.M. Mills.
- 90-5 VNIIM (USSR). — Proposals from the USSR for the revision of the « watt hour » unit status and withdrawal of the physical quantity « dipole magnetic moment » from ISO and IEC documents, by Yu. V. Tarbeev.
- 90-6 ASMO (Arab Organization for Standardization and Metrology). — Letter (21 July 1988) concerning the use of the letter « L » as the symbol for the unit litre.
- 90-7 IUPAP/Commission C 2. — Concerning the litre.
- 90-8 The Royal Society of Chemistry/Journals Department. — Views requested on « Symbol allowing the use of SI prefixes in the expression of numbers ».
- 90-9 Czechoslovakian national committee on organization. — Letter (31 May 1990) asking for a change in the definition of the ampere.
- 90-10 IUPAC. — Letter from I. M. Mills concerning the revision of the SI brochure.

- 90-11 Resolution 6 of the 16th CGPM concerning the use of two symbols, l and L, for the unit litre.
- 90-12 CIE/Division 2. — Effects of the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) on CIE Documentary Standards for Radiometry, Photometry and Colorimetry, by K. D. Mielenz and J. J. Hsia.
- 90-13 BIPM. — International uniformity and traceability in chemical and physico-chemical measurements : a proposal for action by the CIPM, by T. J. Quinn.
- 90-14 Remarks concerning item 4 of the agenda, prepared by J. de Boer.
- 90-15 Proposals for modification to Appendix II of the SI brochure, paragraph 2. Mass, as revised by Mr Bell.
- 90-16 VNIIM (USSR). — Proposals for changes in the text of the 6th edition of the SI brochure, by V. A. Scheglov.
- 90-17 NPL. — Comments about Section 5 of the draft of Appendix II of the SI brochure, by R. L. Rusby to Dr R. J. Bell of NPL.
- 90-18 List of prefixes and units with their letter symbols, prepared by J. de Boer.
- 90-19 Revised text (French and English) of the paragraph « *Quantities expressed as pure numbers* » for the SI brochure, 6th edition.
-

---

TABLE DES MATIÈRES  
TABLE OF CONTENTS

---

COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS  
10<sup>e</sup> session (1990)

---

	Pages
Liste des sigles .....	v
Le BIPM et la Convention du Mètre .....	vii
Liste des membres .....	ix
Ordre du jour .....	xii
<b>Rapport au Comité international des poids et mesures, par A.O. McCoubrey ..</b>	<b>U 1</b>
Ouverture de la session .....	U 2
1. Préparation de la 6 <sup>e</sup> édition de la brochure sur le SI; modifications à apporter dans l'Annexe II de la brochure aux textes concernant :	
— Masse .....	U 3
— Temps (Unité de temps, fréquence; Échelles de temps) .....	U 4
— Grandeurs électriques .....	U 6
— Température .....	U 11
2. Symbole du litre (décision de ne pas présenter de proposition au CIPM en vue de la 19 <sup>e</sup> CGPM) .....	U 14
3. Symboles de préfixes (proposition de zetta, yotta, zepto et yocto à ajouter à la liste de préfixes pour les multiples et sous-multiples) .....	U 15
4. Symbole pour l'unité des grandeurs de dimension 1 (modification du paragraphe de la brochure intitulé « <i>Grandeurs exprimées par des nombres purs</i> ») .....	U 16
5. Noms spéciaux pour des unités SI (rejet d'une proposition d'attribuer le nom de Galilée à $\text{kg m s}^{-1}$ ) .....	U 17
6. Autres questions :	
6.1. Rejet d'une demande de la Tchécoslovaquie d'apporter une modification à la définition de l'ampère .....	U 18
6.2. Expressions « unité SI » et « unité du SI » .....	U 18
6.3. Le « wattheure » (le CCU n'approuve pas l'utilisation sans restriction de cette unité) .....	U 19

- 6.4. Plan pour la révision de la brochure (emploi du point sur la ligne pour indiquer un produit a été supprimé par l'ISO; aucune décision sur la question de supprimer dans le tableau 10 de la brochure certaines des unités « maintenues temporairement ») ..... U 19
- 6.5. Uniformité internationale et traçabilité des mesures chimiques et physico-chimiques (proposition de création d'un groupe de travail organisé sous l'égide du CIPM) ..... U 20

**Annexe**

- U 1. Documents de travail présentés à la 10<sup>e</sup> session du CCU ..... U 21

**Note on the use of the English text.** Note sur l'utilisation du texte anglais .... U 25

The BIPM and the Convention du Mètre ..... U 27

Agenda ..... U 30

**Report to the Comité International des Poids et Mesures, by A.O. McCoubrey**

Opening of the meeting ..... U 32

1. Preparation of the 6th edition of the SI brochure; for Appendix II of the brochure revised texts on:

— Mass ..... U 33

— Time (Unit of time, frequency; Time scales) ..... U 34

— Electrical quantities ..... U 36

— Temperature ..... U 41

2. Symbol for the litre (decision of the CCU not to make any proposal to the CIPM in view of the 19th CGPM) ..... U 43

3. Symbols for prefixes (proposal to extend the list of multiples and sub-multiples and to add zetta, yotta, zepto and yocto) ..... U 44

4. Symbol for the unit of quantities of dimension 1 (revised text on « *Quantities expressed as pure numbers* » for the 6th edition of the brochure on the SI) ..... U 45

5. Special names for SI units (proposal to call Galileo  $\text{kg m s}^{-1}$  rejected) . U 46

6. Miscellaneous:

6.1. Definition of the ampere (proposal made by Czechoslovakia to modify the definition of the ampere rejected) ..... U 47

6.2. The names « SI unit » and « unit of the SI » ..... U 47

6.3. Consideration of the unit « watt hour » (CCU does not approve unrestricted use of the « watt hour ») ..... U 48

6.4. Plans for the revision of the brochure (delete the use of the dot-on-the-line to form a product; no action taken to remove some « temporary » units from table 10 of the brochure) ..... U 48

6.5. International uniformity and traceability in chemical and physico-chemical measurements (proposed setting up of a working group of the CIPM) ..... U 49

**Appendix**

- U 1. Working documents submitted to the CCU at its 10th meeting ..... U 51

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

---

Dépôt légal : Imprimeur, 1991, n° 7443

ISBN 92-822-2113-X

ISSN 0373-3181

ACHEVÉ D'IMPRIMER : MAI 1991

Imprimé en France

