

18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES



18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES

(1987)

COMPTES RENDUS

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

ISBN 92-822-2095-8

**COMPTES RENDUS DES SÉANCES
DE LA 18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES**

Réunie à Paris en octobre 1987 sous la présidence de

Mr Alain HOREAU
Président de l'Académie des Sciences de l'Institut de France

Président par délégation
Mr Jean AUBOUIN
Vice-Président de l'Académie des Sciences de l'Institut de France

Mesdames, Messieurs les délégués des États signataires de la Convention du Mètre

(Les noms des membres du Comité International des Poids et Mesures
sont précédés d'un astérisque)

Afrique du Sud

G. HEYMANN, Vice-Président du Conseil sud-africain pour la recherche scientifique et industrielle (CSIR), Pretoria.

P. J. VAN DER WESTHUIZEN, Conseiller scientifique d'Ambassade, Paris.

Allemagne (République Fédérale d')

*D. KIND, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig. Président du Comité International des Poids et Mesures.

S. GERMAN, Vice-Président de la PTB, Braunschweig.

J. BORTFELDT, Membre du Comité directeur de la PTB, Braunschweig.

M. HAGEN, Premier Conseiller des Affaires scientifiques et technologiques auprès de l'Ambassade.

Allemande (République Démocratique)

K. MÖBIUS, Vice-Président de l'Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (ASMW), Berlin.

H. MAAS, Chef de la Division Température à l'ASMW, Berlin.

Amérique (États-Unis d')

*E. AMBLER, Directeur du National Bureau of Standards (NBS), Gaithersburg.

K. KESSLER, Associate Director for International and Academic Affairs, NBS, Gaithersburg.

A. L. SESSOMS, Conseiller scientifique d'Ambassade, Paris.

Argentine (République)

*R. STEINBERG, Chef du Département de Physique, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires.

J. VALDÉS, Coordinador del Servicio Argentino de Calibración, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires.

Australie

*W. R. BLEVIN, Directeur adjoint de la Division de physique appliquée, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Lindfield (Sydney).

Autriche

R. LEWISCH, Vice-Président du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien.

G. FREISTETTER, Commissaire au Ministère fédéral des Affaires économiques, Wien.

Belgique

H. VOORHOF, Métrologue en chef-directeur, Service de la métrologie du Ministère des Affaires économiques, Bruxelles.

Brésil

*O. SALA, Chef du Département de physique nucléaire, Université de São Paulo.

Bulgarie

P. ZLATAREV, Vice-Président du Comité de la qualité auprès du Conseil des Ministres, Sofia.

Mme B. VELITCHKOVA, Expert chargée des relations internationales en métrologie au Comité de la qualité, Sofia.

B. TCHOUKOV, Chargé des affaires scientifiques et techniques à l'Ambassade, Paris.

Cameroun

N.

Canada

*H. PRESTON-THOMAS, Directeur associé de la Division de physique du Conseil National de Recherches, Ottawa. Vice-Président du Comité International des Poids et Mesures.

Chili

N.

Chine (République Populaire de)

BAI Jingzhong, Directeur général du Bureau d'État de Métrologie, Beijing.

*WANG Daheng, Directeur de la section des Sciences techniques, Academia sinica, Beijing.

ZHENG Yongguang, Chef de la Division des Affaires étrangères du Bureau d'État de Métrologie, Beijing.

Mlle KONG Xiaokang, Interprète, Division des Affaires étrangères du Bureau d'État de Métrologie, Beijing.

Corée (République de)

KANG Hong-Yol, Président du Korea Standards Research Institute (KSRI), Séoul.

SON Bock-Gill, Directeur, Metrology Division, Industrial Advancement Administration, Séoul.

CHANG Sang-Kwon, Directeur, Technical Support Division, KSRI, Séoul.

LEE Sekyung, Chef, Office of International Cooperation, KSRI, Séoul.

Corée (République Populaire Démocratique de)

Ri Heung Sick, Troisième Secrétaire de la Délégation permanente auprès de l'UNESCO, Paris.

Mme KIM Moun Kyong, Troisième Secrétaire de la Délégation permanente auprès de l'UNESCO, Paris.

Danemark

*H. H. JENSEN, Professeur à l'Université, Copenhague. Secrétaire-Adjoint du Comité International des Poids et Mesures.

K. CARNEIRO, Directeur de l'Institut danois de métrologie fondamentale, Lyngby.

J. KAAVÉ, Chef du Secrétariat de la métrologie, National Agency of Technology, Copenhague.

Dominicaine (République)

N.

Égypte

N.

Espagne

- M. MARTIN PEÑA, Chef de service, Centro Español de Metrologia, Madrid.
- J. L. FLORES-CALDERON ALVAREZ, Chef de service, Centro Español de Metrologia, Madrid.
- J. R. FERNANDEZ CIENFUEGOS, Sous-Directeur général adjoint, Service des étalonnages industriels, Ministère de l'Industrie, Madrid.
- J. CATALAN CHILLERON, Directeur des programmes, Service des étalonnages industriels, Ministère de l'Industrie, Madrid.
- L. VILLENA PARDO, Président du groupe conseiller des étalonnages, Ministère de l'Industrie, Madrid.

Finlande

- Mme U. LÄHTEENMÄKI, Directeur du département de métrologie, Centre d'inspection technique, Helsinki.
- J. KAKKURI, Directeur en chef, Institut géodésique finlandais, Président de la Commission métrologique finlandaise, Helsinki.

France

- M. MAGNIEN, Président du Bureau national de métrologie, Paris.
- A. ALLISY, Directeur de l'Institut national de métrologie du CNAM, Paris.
- Ph. BERTRAN, Sous-Directeur de la Métrologie, Ministère de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Tourisme, Paris.
- P. GRIVET, Membre de l'Institut, Président de la Commission scientifique du BNM, Paris.
- *J. KOVALEVSKY, Astronome, Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques, Grasse.
- J. BLOUET, Secrétaire général du Bureau national de métrologie, Paris.
- P. BRÊTHES, Secrétaire-Adjoint des Affaires étrangères, Ministère des Affaires étrangères, Paris.

Hongrie

- D. BELEDI, Président de l'Office national des Mesures (OMH), Budapest.
- P. PÁKAY, Vice-président de l'OMH, Budapest.

Inde

S. K. JOSHI, Directeur du National Physical Laboratory, New Delhi.

Indonésie

N.

Iran

N.

Irlande

P. FARRAGHER, Directeur, Office national des poids et mesures, Dublin.
M. A. HYNES, Chef, Laboratoire national de métrologie, Dublin.

Israël

A. SHENHAR, Directeur du National Physical Laboratory, Jérusalem.

Italie

*A. BRAY, Directeur de l'Institut de Métrologie G. Colonnetti, Turin.
C. EGIDI, Professeur à l'Institut Polytechnique, Turin.
E. ROTONDI, Conseiller scientifique, Comité national pour la recherche et le développement de l'énergie nucléaire, Rome.
C. AMODEO, Chef du Service central métrique, Rome.
F. BONI, Inspecteur en chef au Service central métrique, Rome.

Japon

*K. IIZUKA, Directeur Général de l'Agency of Industrial Science and Technology, Tokyo.
Y. KURITA, Senior Officer of Research Planning, National Research Laboratory of Metrology, Tsukuba.
T. SHIRAO, Premier secrétaire d'Ambassade, Paris.

Mexique*

C. ROGRIGUEZ OLIVIERY, Sous-Directeur d'études techniques de métrologie auprès du Ministère du Commerce et de la Promotion industrielle au Mexique.

* Le représentant du Mexique ne s'est pas présenté bien que les pouvoirs aient été reçus par courrier.

Norvège

K. BIRKELAND, Directeur général du Service national de la métrologie, Oslo.

Pakistan

N.

Pays-Bas

*J. DE BOER, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, Amsterdam.

J. M. DE WOLF, Directeur général du Service de la métrologie, Delft.

R. KAARLS, Chef de la division des étalonnages, Service de la métrologie, Delft.

Pologne

T. PODGÓRSKI, Vice-président du Comité polonais de normalisation, des mesures et du contrôle de la qualité, Varsovie.

K. FURMAŃSKI, Deuxième Secrétaire d'Ambassade, Paris.

Z. PESTRAKIEWICZ, Ingénieur en chef, Département de la collaboration internationale, Comité polonais de normalisation, des mesures et du contrôle de la qualité, Varsovie.

Portugal

A. S. R. CRUZ, Directeur du Service de la métrologie, Institut portugais de la qualité, Lisbonne.

Roumanie

M. BURACU, Inspecteur général d'État, Inspection générale d'état pour le contrôle de la qualité des produits, Bucarest.

I. ISCRULESCU, Directeur de l'Institut national de métrologie, Bucarest.

Royaume-Uni

*P. DEAN, Directeur du National Physical Laboratory (NPL), Teddington.

R. K. BARTLETT, Technical Aide to Director, NPL, Teddington.

Suède

*K. SIEGBAHN, Professeur, Institut de Physique, Uppsala.

O. MATHIESEN, Head, Centre for Metrology, National Council for Metrology and Testing, Bôras.

R. OHLON, Conseiller scientifique, Statens Provningsanstalt, Bôras.

A. J. THOR, Commission suédoise de la normalisation, Secrétaire de l'ISO/TC 12, Stockholm.

Suisse

P. KOCH, Directeur adjoint de l'Office fédéral de métrologie, Wabern.

Tchécoslovaquie

T. HILL, Président de l'Office de normalisation et des mesures, Prague.

M. CIBÁK, Directeur de l'Institut tchécoslovaque de métrologie, Bratislava.

*J. SKÁKALA, Professeur à l'Université technique, Bratislava.

Thaïlande

Mlle S. KANCHANALAI, Directeur Général, Department of Commercial Registration, Ministry of Commerce, Bangkok.

P. THENANONTA, Sous-directeur, Department of Commercial Registration, Ministry of Commerce, Bangkok.

V. VISUTTHATHAM, Department of Commercial Registration, Ministry of Commerce, Bangkok.

Mme W. INTARAPRASIT, Conseiller commercial d'Ambassade, Paris.

Turquie

A. BIROL ALTAN, Head, National Physical and Technical Measurement Standards Center, Kocaeli.

A. MURAT BORA, Attaché d'Ambassade, Paris.

U.R.S.S.

*A. MEKHANNIKOV, Vice-Président du Comité d'État de l'URSS pour les normes (Gosstandart), Moscou.

A. OBOUKHOV, Chef de Section à l'Institut des mesures physico-techniques et radiotechniques, Moscou.

L. M. ZYKIN, Ingénieur, Gosstandart, Moscou.

E. NURIEV, Attaché au Ministère des Affaires étrangères, Moscou.

Uruguay

N.

Venezuela

N.

Yougoslavie

M. MEŽEK, Directeur du Bureau fédéral des mesures et métaux précieux, Belgrade.

Assistent à la Conférence

P. GIACOMO, Directeur du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM),
Sèvres.

T. J. QUINN, Sous-Directeur du BIPM, Sèvres.

H. MOREAU, Métrologue honoraire du BIPM.

Les représentants de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale, Paris
(B. ATHANÉ, Directeur du Bureau International de Métrologie Légale,
S. A. THULIN, F. PETIK, adjoints au Directeur du BIML, et W. H. EMERSON,
ingénieur consultant).

Le personnel scientifique du Bureau International des Poids et Mesures.

CONVOCAATION

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures
est convoquée pour le lundi 12 octobre 1987

Constitution de la Conférence Générale des Poids et Mesures

Convention du Mètre (1875) : article 3

« Le Bureau International fonctionnera sous la direction et la surveillance exclusives d'un *Comité International des Poids et Mesures*, placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence Générale des Poids et Mesures*, formée de délégués de tous les Gouvernements contractants. »

Règlement annexé à la Convention du Mètre (1875) : article 7

« La Conférence Générale, mentionnée à l'article 3 de la Convention, se réunira à Paris, sur la convocation du Comité International, au moins une fois tous les six ans.

« Elle a pour mission de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour la propagation et le perfectionnement du Système Métrique, ainsi que de sanctionner les nouvelles déterminations métrologiques fondamentales qui auraient été faites dans l'intervalle de ses réunions. Elle reçoit le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et procède, au scrutin secret, au renouvellement par moitié du Comité International.

« Les votes, au sein de la Conférence Générale, ont lieu par États ; chaque État a droit à une voix.

« Les membres du Comité International siègent de droit dans les réunions de la Conférence, ils peuvent être en même temps délégués de leurs Gouvernements. »

Lieu et dates des séances

Toutes les séances * se tiendront au
Centre de Conférences Internationales, 19, avenue Kléber, Paris 16^e
dans une salle gracieusement offerte par le
Ministère des Affaires Étrangères de France
avec interprétation simultanée en français, anglais et russe.

Première	séance, lundi 12 octobre 1987	à 10 h.
Deuxième	séance, lundi 12 octobre 1987	à 15 h.
Troisième	séance, mercredi 14 octobre 1987	à 15 h.
Quatrième	séance, jeudi 15 octobre 1987	à 15 h.
Cinquième	séance, vendredi 16 octobre 1987	à 10 h.
Sixième	séance, vendredi 16 octobre 1987	à 15 h.

Une visite du Bureau International, suivie d'une réception au Pavillon de Breteuil, aura lieu le mardi 13 octobre 1987 à 15 h.

* Seules les deux premières séances se sont effectivement tenues au Centre de Conférences Internationales. Les autres séances ont eu lieu à l'Office international des épizooties, 12, rue de Prony, Paris.

ORDRE DU JOUR PROVISOIRE

1. Ouverture de la Conférence.
Discours de Son Excellence Mr le Ministre des Affaires Étrangères de la République Française.
Réponse de Mr le Président du Comité International des Poids et Mesures.
Discours de Mr le Président de l'Académie des Sciences de Paris, Président de la Conférence.
 2. Présentation des titres accédant les Délégués.
 3. Nomination du Secrétaire de la Conférence.
 4. Établissement de la liste des Délégués chargés de vote.
 5. Approbation de l'ordre du jour.
 6. Rapport de Mr le Président du Comité International sur les travaux accomplis.
 7. Définition du mètre.
 8. Masse et grandeurs apparentées ; kilogramme.
 9. Seconde et échelle de Temps atomique international.
 10. Étalons électriques.
 11. Échelle internationale pratique de température.
 12. Photométrie, radiométrie.
 13. Rayonnements ionisants.
 14. Système International d'Unités.
 15. Programme des travaux futurs.
 16. Dotation annuelle du Bureau International.
 17. Propositions de MM. les Délégués.
 18. Renouvellement par moitié du Comité International.
 19. Questions diverses.
-

COMMENTAIRES SUR LES PRINCIPAUX POINTS DE L'ORDRE DU JOUR

1. Ouverture de la Conférence

La date d'ouverture de la 18^e Conférence Générale des Poids et Mesures se situe quatre ans après l'ouverture de la Conférence précédente. Cet intervalle paraît convenable à notre époque où la métrologie évolue rapidement grâce aux progrès des sciences et des techniques et où ces mêmes progrès doivent pouvoir s'appuyer sur une métrologie constamment mise à jour.

2. Présentation des titres accréditant les Délégués

Pour la bonne organisation de la Conférence, il est souhaitable que la composition de chaque délégation soit communiquée au Bureau International des Poids et Mesures au plus tard quinze jours avant l'ouverture de la Conférence.

À leur arrivée, MM. les Délégués seront priés de présenter les titres accréditant leur délégation au secrétariat de la Conférence.

6. Rapport de Mr le Président du Comité International des Poids et Mesures sur les travaux accomplis

L'article 19 du Règlement annexé à la Convention du Mètre stipule que « Le Président du Comité rendra compte, à la Conférence Générale, des travaux accomplis depuis l'époque de sa dernière réunion ».

7. Définition du mètre

La 17^e Conférence Générale, en 1983, a adopté une nouvelle définition du mètre fondée sur le trajet parcouru par la lumière dans un intervalle de temps donné. La même Conférence Générale avait demandé au Comité International des Poids et Mesures d'établir des instructions pour la mise en pratique de cette définition. Ces instructions ont été établies par le Comité International dans sa Recommandation 1 (CI-1983). Elles sont accompagnées d'une liste de radiations recommandées comme étalons de longueur d'onde. Certaines de ces radiations jouent aussi un rôle essentiel comme étalons de fréquence. Il s'agit de radiations émises par des lasers convenablement asservis. Des travaux importants sont en cours pour consolider et améliorer les qualités métrologiques de ces lasers, stabilité et reproductibilité principalement, et mettre ces qualités à profit dans les mesures de longueur.

Un rapport sera présenté à la Conférence Générale sur l'avancement de ces travaux.

8. Masse et grandeurs apparentées ; kilogramme

Depuis 1975, plusieurs Résolutions des 15^e, 16^e et 17^e Conférences Générales (1975, Résolution 3 ; 1979, Résolution 1 ; 1983, Résolution 3) ont demandé aux laboratoires concernés de développer les études visant à améliorer la conservation et la diffusion de l'unité de masse. L'un des objectifs déjà envisagé en 1975 était d'organiser dans

les meilleures conditions possibles une troisième vérification périodique des prototypes nationaux du kilogramme.

Des progrès sensibles ont été enregistrés dans ce domaine. En particulier, le Bureau International des Poids et Mesures est maintenant en mesure de comparer deux kilogrammes prototypes en platine iridié avec une précision de l'ordre de 1 microgramme. De plus, la méthode de nettoyage-lavage qu'il applique à ces prototypes a fait l'objet de diverses vérifications. Elle permet de ramener leur masse à une valeur reproductible à quelques microgrammes près, malgré les pollutions diverses auxquelles ils sont exposés.

Toutes les vérifications d'étalons de masse effectuées par le Bureau International des Poids et Mesures reposent sur deux prototypes d'usage courant et un prototype d'usage exceptionnel qui n'ont pas été comparés au Prototype international, directement ou indirectement, depuis 1946, époque où le Bureau International préparait la deuxième vérification périodique des prototypes nationaux. On avait conclu, à la suite de cette vérification, que « les petites différences que l'on observe entre les valeurs actuelles et celles de 1889 ne dépassent pas, à deux exceptions près, 3 à 4 centièmes de milligrammes. Ces différences ne signifient probablement pas que la masse des prototypes a varié ».

Le Comité International estime que le temps est venu, en prévision de la troisième vérification des prototypes nationaux, d'effectuer une nouvelle comparaison des six témoins et des trois prototypes d'usage du Bureau International avec le Prototype international du kilogramme. Les neuf prototypes ainsi vérifiés pourront ensuite servir de référence pour la troisième vérification périodique. Celle-ci fait l'objet du projet de résolution A.

Projet de résolution A

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

rappelant et confirmant la Résolution 3 de la Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

ayant pris l'avis du Comité International des Poids et Mesures et ayant approuvé sa décision de procéder à une comparaison du Prototype international du kilogramme, de ses témoins et des prototypes d'usage du Bureau International des Poids et Mesures,

considérant que le Bureau International des Poids et Mesures sera ensuite en mesure d'organiser une comparaison générale des prototypes nationaux, comparaison qui devrait commencer vers 1989-1990,

recommande que les laboratoires concernés se préparent à envoyer au Bureau International des Poids et Mesures leurs prototypes nationaux du kilogramme en platine iridié, en vue d'une comparaison générale de ces prototypes.

En l'absence de nettoyage, la pollution se traduit, dans les meilleurs cas, par une augmentation de la masse des prototypes de l'ordre de vingt microgrammes en dix ans. Cela confirme l'importance de la contamination superficielle pour la conservation de la masse des étalons. Cette contamination semble être due davantage aux agents transportés par l'atmosphère qu'aux manipulations elles-mêmes. Les méthodes modernes d'analyse des surfaces devraient permettre d'étudier la nature des agents polluants et le processus de contamination. Une meilleure connaissance de ces phénomènes devrait permettre d'améliorer les conditions de conservation des étalons de masse. En conséquence, le Comité International propose à la Conférence Générale le projet de résolution B.

Projet de résolution B

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

que la stabilité à long terme est l'une des caractéristiques essentielles des étalons de masse,

que les perfectionnements apportés aux balances permettent aujourd'hui de mettre en évidence des variations de masse de quelques microgrammes sur un kilogramme,

que des variations de cet ordre ont été observées et ont pu être attribuées à des effets superficiels dus en particulier à la pollution par les agents atmosphériques,

que les méthodes utilisées pour nettoyer la surface des étalons de masse pourraient avoir des effets insoupçonnés,

que diverses méthodes modernes permettent d'étudier le comportement superficiel des alliages dont sont constitués les étalons de masse,

que des résultats importants ont déjà été obtenus à l'aide de ces méthodes concernant la contamination des surfaces,

recommande que les laboratoires appliquent les diverses techniques maintenant disponibles pour étudier la composition et le comportement superficiels du platine allié à 10 % d'iridium et des autres alliages dont sont constitués les étalons de masse.

Conformément à la Résolution 3 de la 17^e Conférence Générale, le Comité International a recommandé une formule unique pour calculer la masse volumique de l'air, elle-même nécessaire pour déterminer la correction due à la poussée de l'air dans les comparaisons de masse.

Cette correction s'appuie, entre autres, sur la mesure de la masse volumique des étalons et sur celle de la pression atmosphérique. Avec son Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, le Comité International s'emploie à faire progresser ce domaine des mesures. Il s'emploie de même à faire progresser l'uniformité des mesures des principales grandeurs dérivées en poursuivant l'organisation de comparaisons des mesures de force, de pression, de masse volumique et de l'accélération due à la pesanteur. Un rapport sera présenté à la Conférence Générale sur l'ensemble des sujets concernant la masse et les grandeurs apparentées.

9. Seconde et échelle du Temps atomique international

La diffusion de l'échelle de temps dite Temps atomique international (TAI) est le moyen actuel de mettre à la disposition de tous les usagers une réalisation extrêmement exacte de la seconde, unité de temps du SI. Elle répond aussi au besoin d'avoir une référence temporelle unique pour l'ensemble des activités mondiales.

En 1958, le Bureau International de l'Heure (BIH), l'un des services de la Fédération des services d'astronomie et de géophysique (FAGS) patronnée par le Conseil international des unions scientifiques, a entrepris d'établir une échelle de temps de référence fondée non plus sur des observations astronomiques mais sur les données d'étalons atomiques de fréquence. L'utilité de cette échelle de temps atomique, qui a reçu ultérieurement le nom de Temps atomique international, a été reconnue par diverses organisations internationales et son usage est devenu universel.

La 13^e Conférence Générale a adopté en 1967 la définition atomique de la seconde actuellement en vigueur. La 14^e Conférence Générale en 1971, dans sa Résolution 2, « autorise le Comité International des Poids et Mesures à conclure avec le Bureau International de l'Heure les arrangements nécessaires pour la réalisation de l'échelle

de Temps atomique international à définir par le Comité International». La 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures en 1975, dans sa Résolution 4, « ayant pris connaissance des arrangements conclus entre le Bureau International de l'Heure et le Bureau International des Poids et Mesures afin de satisfaire les besoins des utilisateurs du Temps atomique international (TAI)... demande au Comité International des Poids et Mesures de veiller à maintenir ses relations avec le Bureau International de l'Heure et son Comité directeur en vue de l'amélioration de l'exactitude et de la continuité du TAI ».

Depuis cette époque, le Bureau International a contribué activement au fonctionnement du service du TAI.

Il est maintenant nécessaire que le Bureau International prenne complètement en charge ce service. Les raisons de ce changement font l'objet d'un document annexe joint à la présente convocation. Un résumé de la question a été joint au « Rapport annuel aux Gouvernements des Hautes parties contractantes sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures en 1985 » qui a été envoyé aux ambassades à Paris au mois de juin 1986. Le Comité International demande à la Conférence Générale d'approuver la prise en charge du TAI par le Bureau International des Poids et Mesures.

Projet de résolution C

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant l'importance des mesures de temps et en particulier de l'échelle de Temps atomique international, laquelle a déjà fait l'objet de la Résolution 2 de la Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures et des Résolutions 4 et 5 de la Quinzième Conférence Générale,

ayant pris connaissance des résolutions adoptées par les Unions internationales concernées, Union Astronomique Internationale, Union Géodésique et Géophysique Internationale et Union Radio-Scientifique Internationale,

rend hommage au Bureau International de l'Heure et à son organisme-hôte, l'Observatoire de Paris, pour la création du Temps atomique international et pour la qualité des travaux accomplis pour l'établir et le diffuser,

approuve les décisions du Comité International qui ont eu pour effet la prise en charge par le Bureau International des Poids et Mesures de l'établissement et de la diffusion du Temps atomique international,

et *recommande* aux institutions nationales concernées de poursuivre avec le Bureau International des Poids et Mesures leur collaboration pour l'établissement et l'amélioration du Temps atomique international.

Le Comité International propose en outre à la 18^e Conférence Générale deux autres projets de résolution. L'un vise à élargir les possibilités de liaisons horaires régulières par satellites entre horloges atomiques éloignées, en vue d'améliorer à la fois les comparaisons entre horloges sur lesquelles est fondé le calcul du TAI, la diffusion des données du TAI aux organismes nationaux et les comparaisons entre les étalons primaires qui permettent de réaliser la seconde. En effet, on peut utiliser les satellites de télécommunication pour recevoir et retransmettre un ensemble codé aperiodique de signaux (dit pseudo-aléatoire) afin de mesurer la distance du satellite et la durée du trajet de ces signaux sans nuire aux transmissions qui ont lieu simultanément ; ces mêmes signaux peuvent être utilisés pour mesurer l'écart entre les indications de deux horloges distantes.

Projet de résolution D

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

que la synchronisation de haute précision devient rapidement une condition essentielle des télécommunications modernes,

que les liaisons aller et retour par satellite permettent d'effectuer des comparaisons de temps à l'échelle internationale avec une très grande précision,

qu'il apparaît possible de transmettre des signaux horaires pseudo-aléatoires superposés à une utilisation normale des voies de communication sans qu'il y ait interférence,

que ces techniques de signaux pseudo-aléatoires permettent aussi de mesurer la distance du satellite avec une grande précision,

recommande que les organes nationaux et internationaux responsables apportent leur soutien aux expériences utilisant les liaisons de télécommunication par satellites, notamment à l'aide de signaux pseudo-aléatoires, dans le cadre des programmes internationaux de liaisons horaires faisant partie de l'établissement du Temps atomique international.

L'autre projet de résolution vise à améliorer la connaissance de l'exactitude avec laquelle on sait réaliser la seconde. Les liaisons horaires par satellite permettent en effet maintenant de comparer à distance les étalons primaires dans le monde entier avec une précision qui peut atteindre dix nanosecondes, alors qu'elle était limitée à une microseconde il y a quelques années encore, et des méthodes nouvelles permettront vraisemblablement à l'avenir de gagner encore un ordre de grandeur. Il importe donc d'analyser en détail des perturbations que l'on avait jusqu'ici considérées comme non significatives :

Projet de résolution E

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures

rappelle que

la définition de la seconde telle qu'elle résulte des décisions de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures sous-entend que l'atome de césium utilisé comme référence est au repos et n'est soumis à aucune perturbation,

ceci implique notamment que, dans la présente mise en pratique, les mesures doivent être corrigées en raison de la vitesse des atomes de césium par rapport au référentiel de l'horloge, en raison des interactions magnétique et électrique, de l'échange des spins et des autres perturbations éventuelles,

et *recommande*, afin de mettre en œuvre les corrections nécessaires,

que les études théoriques de tous les effets perturbateurs soient développées,

que les expériences permettant de mettre en évidence ces effets, d'en vérifier l'interprétation théorique et d'évaluer l'incertitude des corrections correspondantes soient poursuivies activement.

10. Étalons électriques

En mettant en œuvre d'une part l'effet Josephson, d'autre part l'effet Hall quantique, les laboratoires nationaux et le Bureau International sont maintenant en mesure de conserver des références représentatives du volt et de l'ohm, et par conséquent de l'ampère, avec les meilleures garanties de stabilité à long terme et d'uniformité.

Il convient cependant de s'assurer que la mise en œuvre de ces deux effets quantiques n'introduit pas des effets parasites susceptibles de varier d'un laboratoire à l'autre, donc aussi d'une époque à l'autre.

L'une des méthodes de contrôle consiste à effectuer des comparaisons entre laboratoires. Il faut pour cela améliorer les étalons de transfert actuellement disponibles car ils ne sont pas suffisamment stables. Une autre méthode consiste à rattacher ces représentations du volt et de l'ohm à des réalisations « absolues » des unités électriques conformes à leur définition. Il existe quelques réalisations de ce genre. Elles sont difficiles et peu nombreuses. Elles n'ont pas encore donné une garantie d'exactitude du même ordre que la précision des expériences quantiques. Il revient au même de dire que la valeur des constantes fondamentales e/h et e^2/h mises en jeu dans l'un ou l'autre de ces effets quantiques n'est pas encore connue avec une exactitude suffisante pour conduire à des réalisations acceptables du volt et de l'ohm. Il y a tout lieu d'espérer que, dans un proche avenir, ces méthodes de contrôle permettront d'asseoir solidement la conservation des unités électriques sur les effets quantiques en question.

C'est pourquoi le Comité International propose à la Conférence Générale le projet de résolution suivant :

Projet de résolution F

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

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

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

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

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

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

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

11. Échelle internationale pratique de température

Le programme prévu initialement pour la mise au point d'une échelle destinée à remplacer l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIP-68) a été retardé en raison de diverses difficultés. Grâce à l'esprit de coopération et au travail conjoint des principaux laboratoires concernés, ces difficultés sont maintenant surmontées.

Les grandes lignes de la nouvelle échelle sont maintenant établies et ses écarts par rapport à l'EIP-68 sont connus, à très peu près. Il est prévu que les détails de l'échelle et les valeurs de ces écarts pourront être précisés en 1988, ce qui permettrait de mettre la nouvelle échelle en vigueur au 1^{er} janvier 1990. L'écart entre la valeur de la température mesurée à l'aide de cette nouvelle échelle et celle de la température

thermodynamique devrait être négligeable, c'est-à-dire suffisamment faible pour exclure, dans l'avenir prévisible, l'éventualité de modifications qui seraient significatives pour l'utilisateur.

Le Comité International propose donc à la Conférence le projet de résolution suivant :

Projet de résolution G

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

que l'uniformité mondiale et la stabilité à long terme des mesures de température 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 la valeur de la température dans l'échelle pratique doit correspondre étroitement à la valeur de la température thermodynamique dans le SI,

que la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures, ayant pris connaissance des écarts qui ont été mis en évidence entre la valeur de la température dans l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (E IPT-68) et la valeur correspondante de la température thermodynamique, a chargé le Comité International des Poids et Mesures d'établir une nouvelle échelle qui devrait être sensiblement plus exacte,

qu'une nouvelle échelle pourra être proposée en 1989, échelle telle que les écarts résiduels avec la température thermodynamique seront négligeables pendant de nombreuses années à venir,

invite le Comité International des Poids et Mesures et les laboratoires nationaux à achever la mise au point de cette nouvelle échelle de température et à fixer une date pour sa mise en application simultanément dans tous les pays ; la valeur des écarts entre cette nouvelle échelle et l'E IPT-68 devrait être annoncée au moins un an avant l'adoption de la nouvelle échelle qui pourrait intervenir au 1^{er} janvier 1990.

12. Photométrie, radiométrie

La Seizième Conférence Générale a adopté, en 1979, par sa Résolution 3, une nouvelle définition de la candela. Sa Résolution 4 demandait au Comité International des Poids et Mesures « d'organiser des comparaisons internationales afin que soit contrôlée l'uniformité des résultats des mesures photométriques obtenus avec la nouvelle définition de la candela ».

Une comparaison internationale de mesures d'intensité lumineuse et de flux lumineux a été organisée au Bureau International des Poids et Mesures pour répondre à cette demande. Les résultats en sont maintenant connus.

L'accord entre les laboratoires nationaux s'est légèrement amélioré depuis le changement de la définition de la candela, et surtout le nombre des laboratoires qui ont réalisé les unités conformément à leur définition a doublé ; en conséquence, l'écart-type de la moyenne des résultats a diminué de façon significative. De plus, on constate que les techniques utilisées pour réaliser les unités sont plus variées. Il est donc très probable que le résultat moyen de la comparaison donne une représentation de la candela et du lumen plus exacte qu'auparavant. On peut dire ainsi que les avantages de la nouvelle définition sont confirmés. En outre, on a tout lieu de penser que la poursuite des recherches effectuées dans les laboratoires nationaux sur les techniques radiométriques conduira à une nouvelle amélioration de l'uniformité et de l'exactitude des mesures photométriques.

Une des conséquences de la comparaison internationale est le réajustement, à dater du 1^{er} janvier 1987, des valeurs attribuées aux étalons photométriques du BIPM ; de même les laboratoires nationaux ont été invités à réajuster, si nécessaire, pour le 1^{er} juillet 1987, les valeurs attribuées à leurs propres étalons.

En radiométrie, on a achevé une comparaison internationale de mesures de la sensibilité spectrale de photodiodes dans la région visible du spectre pour deux radiations émises par des lasers. Deux autres comparaisons de radiométrie sont en cours de préparation. L'une concerne la mesure de l'éclairement énergétique spectral dans l'ultraviolet, le visible et le proche infrarouge ; l'autre concerne la mesure du flux énergétique dans le proche infrarouge, à trois longueurs d'onde qui ont une importance capitale pour la technique des fibres optiques.

Un rapport sera présenté à la Conférence Générale sur l'ensemble de ces travaux.

13. Rayonnements ionisants

La métrologie des rayonnements ionisants s'est considérablement améliorée au cours des vingt-cinq dernières années sous l'impulsion du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, appuyée par les travaux des laboratoires nationaux et du Bureau International des Poids et Mesures dans ce domaine. Elle continue d'évoluer rapidement, car il s'agit encore d'une discipline jeune, dont les besoins, dans les domaines industriel, médical, scientifique ou technique évoluent eux-mêmes rapidement. Un rapport permettra à la Conférence Générale de faire le point sur les travaux accomplis et sur les perspectives d'avenir.

14. Système international d'unités

Le Bureau International a publié une cinquième édition de la brochure « Le Système International d'Unités (SI) », qui a été préparée par le Comité Consultatif des Unités.

En dehors des décisions importantes comme la nouvelle définition du mètre promulguée par la 17^e Conférence Générale en 1983, cette cinquième édition comporte principalement des améliorations rédactionnelles. Ces dernières jouent un rôle important car le SI doit être interprété de la même façon dans tous les pays, dans toutes les langues, dans tous les domaines.

Le président du Comité Consultatif des Unités donnera un rapport sur les diverses questions qui ont été soumises à ce Comité et sur les progrès de la diffusion du Système international d'unités dans le monde.

La Conférence Générale sera en outre invitée à célébrer le vingt-cinquième anniversaire du SI. C'est en effet en 1960 que la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures a approuvé par sa Résolution 12 l'acte de naissance du Système international d'unités, SI, digne fils du Système métrique, utilisé aujourd'hui dans le monde entier.

15. Programme des travaux futurs

Une description détaillée du programme proposé par le Comité International pour les années 1989 à 1992 sera donnée dans le document annexe intitulé « Programme de travail et budget du Bureau International des Poids et Mesures pour les années 1989-1992 » qui sera envoyé en complément à la présente convocation.

16. Dotation annuelle du Bureau International des Poids et Mesures

Les estimations financières seront développées dans le document annoncé ci-dessus. On peut en résumer les conclusions comme suit.

La 17^e Conférence Générale avait accordé au Bureau International une dotation en francs-or* en accroissement de 9 % par an de 1985 à 1988.

La dotation annuelle ainsi accordée par la Conférence Générale impliquait une certaine contrainte pour le programme de travail du BIPM. Le programme de travail présenté à cette même Conférence Générale dans le document « Programme de travail et budget du BIPM dans les quatre années 1985-1988 » avait été établi dans la perspective du maintien du financement réel du BIPM à un niveau constant ; il comportait quelques développements et constituait un minimum indispensable pour ne pas accumuler un retard excessif. Le ralentissement récent de l'inflation aurait dû permettre de réaliser essentiellement ce programme. Cependant, la prise en charge du Temps atomique international a entraîné des charges supplémentaires non prévues lors de la Conférence Générale, en 1983.

De plus et dans le même temps, les autres domaines d'activité ont continué à manifester des besoins accrus, par exemple celui de l'électricité avec l'effet Hall quantique, celui des longueurs avec le développement des lasers ou celui des masses avec le développement de nouvelles études sur les balances et sur la conservation des étalons de masse. Par ailleurs, divers développements qui avaient fait l'objet de vœux pressants de la part des comités consultatifs concernés n'ont pas pu être entrepris.

En conséquence, le Comité International a dû revoir les priorités, ce qui a été discuté en détail lors de ses sessions de 1984 et 1985. Un texte résumant le rôle du Bureau International dans les années 80 a été approuvé en 1984 par le Comité International, sous la forme suivante :

« L'objectif du BIPM est de fournir les bases physiques nécessaires pour assurer l'uniformité des mesures dans le monde. En conséquence, ses missions principales sont les suivantes :

- conserver et disséminer l'unité de masse ;
- établir et disséminer le Temps atomique international et, en collaboration avec les organismes astronomiques appropriés, le Temps universel coordonné ;
- constituer un centre pour les comparaisons internationales des réalisations d'autres unités, unités de base ou unités dérivées, et pour la dissémination ultérieure de ces unités, suivant les besoins de l'ensemble des laboratoires nationaux de métrologie ; cela exige, entre autres, que dans divers domaines le BIPM conserve ses propres réalisations de certaines unités de base ou dérivées ;
- déterminer, éventuellement, la valeur de certaines constantes physiques étroitement liées à la définition, la réalisation ou la dissémination d'unités de base ou dérivées ;
- assurer le secrétariat scientifique et administratif de la Conférence Générale des Poids et Mesures, du Comité International des Poids et Mesures et de ses Comités Consultatifs ;
- lorsque certaines comparaisons internationales patronnées par les Comités Consultatifs ne peuvent pas être prises en charge par le BIPM, fournir toute l'aide possible pour l'organisation de ces comparaisons ;
- s'assurer que les résultats de chaque comparaison internationale font l'objet d'un rapport circonstancié et que ces résultats, s'ils ne font pas l'objet d'une autre publication, sont publiés directement par le BIPM.

* Le taux de conversion du franc-or en franc français, inchangé depuis 1969, est toujours de 1,814 52 franc français par franc-or.

Pour assumer ces tâches avec l'efficacité et la qualité requises, le BIPM doit disposer d'un personnel scientifique, technique et administratif hautement qualifié et de moyens appropriés : laboratoires, équipement, bibliothèque, ateliers et autres installations, qu'il faut maintenir en permanence adaptés aux besoins modernes. »

Tenant compte de ces objectifs, le Comité International a pu aménager pour les années 1985-1988 un programme favorisant les principales activités prioritaires. Il doit être bien clair que cela ne permet pas de maintenir et encore moins de développer comme il serait souhaitable toutes les activités importantes. Ainsi les efforts consacrés aux mesures thermométriques, à certaines mesures de longueur et aux mesures neutroniques seront réduits, et la radiométrie ne pourra être développée que très lentement.

La prise en charge du TAI, par contre, a été considérée comme une activité prioritaire et entièrement nouvelle demandant un accroissement du budget annuel de l'ordre de 7 %, soit 900 000 francs-or pour l'année 1986. Pour les années 1986, 1987 et 1988, le CIPM a décidé de prélever respectivement 900 000, 600 000 et 300 000 francs-or sur les réserves du Bureau. En conséquence, le budget ordinaire devra prendre en charge progressivement la dépense supplémentaire, soit 300 000 francs-or en 1987, 600 000 francs-or en 1988 et la totalité ultérieurement *. Cela réduit en fait de 2 % par an l'augmentation de la partie du budget qui est disponible pour les autres activités, augmentation qui avait été prévue par la précédente Conférence Générale pour les années 1985 à 1988. De cette façon, le Comité International a pu absorber progressivement la prise en charge du TAI dans le budget prévu sans demander à la 18^e Conférence Générale un accroissement supplémentaire de la dotation pour le TAI après 1988.

Pour les années suivantes, le Comité International a encore une fois estimé qu'il serait prématuré de tabler sur une situation économique mondiale florissante. Il a donc admis que l'augmentation de la dotation pourrait se limiter à ce qui est nécessaire pour assurer l'accroissement normal de complexité du matériel et de qualification du personnel, sans aucune innovation, et la mise en œuvre de quelques méthodes nouvelles déjà éprouvées dans les laboratoires nationaux. Une augmentation de 3 à 4 % par an des moyens financiers effectifs attribués au BIPM devrait ainsi permettre de le maintenir à un niveau de compétence raisonnable, c'est-à-dire comparable à celui des laboratoires nationaux, à condition de continuer à limiter ses domaines d'activité comme on l'a fait pour l'exercice en cours.

D'autre part, en tablant sur la reprise économique, on peut espérer que l'augmentation des prix en France restera inférieure à 3 % par an, mais l'évolution de la situation économique est difficilement prévisible, en France comme ailleurs.

Le Comité International a donc estimé globalement à 6 % l'augmentation annuelle de la dotation en francs-or qui devrait assurer le maintien de l'activité du BIPM à un niveau constant.

Le Comité International demandera en conséquence à la Conférence Générale d'augmenter la dotation pour les années à venir, sur la base des contributions appelées en 1988, soit 17 105 000 francs-or, en adoptant les valeurs suivantes :

dotation pour 1989 : 18 132 000 francs-or
dotation pour 1990 : 19 220 000 francs-or
dotation pour 1991 : 20 373 000 francs-or
dotation pour 1992 : 21 595 000 francs-or.

* *Note du BIPM.* Après la clôture de l'exercice 1986, elle-même postérieure à la présente Convocation, le Comité International a accéléré cette prise en charge progressive (voir Rapport du Président du CIPM, p. 40).

Il n'est probablement pas inutile de répéter que les sommes mises en jeu ne représentent qu'une très petite fraction des dépenses que le Bureau International épargne à l'économie mondiale. L'uniformité et la permanence des mesures constituent l'une des bases indispensables des échanges économiques, techniques et scientifiques entre tous les pays. Pour maintenir cette base, il faut pouvoir s'appuyer sur un laboratoire dont la neutralité est garantie par un statut international et dont la compétence pratique et la scrupuleuse honnêteté scientifique sont universellement reconnues. Toute autre méthode conduirait à un gaspillage de moyens supérieur, de plusieurs ordres de grandeur, à la dotation modeste du Bureau International des Poids et Mesures.

17. Propositions de MM. les Délégués

Les délégations des États sont priées de faire connaître les vœux ou propositions qu'elles désirent soumettre à la 18^e Conférence Générale, en les envoyant au Comité International des Poids et Mesures dans le délai le plus court, et en tout cas au moins six mois avant la Conférence (décision de la 7^e Conférence Générale (1948) : « les vœux ou propositions ainsi déposés seront transmis par le bureau du Comité à tous les États adhérents à la Convention, au moins quatre mois avant l'ouverture de la Conférence, afin que MM. les Délégués puissent recevoir les instructions et pouvoirs nécessaires. Tout autre vœu ou proposition ne sera présenté à la Conférence qu'à la condition que le Comité ait eu le temps nécessaire de l'étudier et l'aura approuvé »).

18. Renouvellement par moitié du Comité International

Conformément aux Articles 7 (1875) et 8 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre, la Conférence procède, au scrutin secret, au renouvellement par moitié du Comité International. Les membres sortants sont d'abord ceux qui, en cas de vacances, ont été élus provisoirement dans l'intervalle de deux sessions de la Conférence ; les autres sont désignés par le sort. Les membres sortants sont rééligibles.

Décembre 1986

Pour le Comité International des Poids et Mesures,
Pavillon de Breteuil, 92312 Sèvres Cedex

Le Secrétaire,
J. DE BOER

Le Président,
D. KIND

ANNEXE

Le Temps atomique international au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)

Jusqu'aux années 1950, époque de la mise au point des premières horloges atomiques, l'échelle de temps internationale était fondée uniquement sur l'observation astronomique de la rotation de la Terre. La seconde de temps était définie à partir de données astronomiques et distribuée par les observatoires. Le Bureau International de l'Heure (BIH), créé en 1911 et situé à l'Observatoire de Paris qui en supportait principalement la charge, centralisait les données et établissait l'échelle internationale.

Il est rapidement apparu que les échelles de temps atomiques étaient beaucoup plus exactes que les échelles fondées sur la rotation de la Terre. En 1967, la 13^e Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) a adopté une définition atomique de la seconde, unité de temps du Système international d'unités (SI), et en 1971 la 14^e CGPM a adopté comme référence temporelle mondiale l'échelle du Temps atomique international (TAI) fondée sur la définition de la seconde. Le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) fut chargé de conclure les arrangements appropriés avec le BIH pour que celui-ci établisse et distribue le TAI, ce qu'il faisait déjà à titre non officiel depuis 1958.

Le TAI est établi à partir de travaux de laboratoire. Sa stabilité et son exactitude sont assurées par de nombreuses horloges atomiques de types divers situées dans le monde entier et par un petit nombre d'étalons primaires de la seconde. L'établissement du TAI et sa distribution exigent les meilleures liaisons horaires et utilisent maintenant de plus en plus les liaisons par satellites. L'ensemble de ces travaux demande une coordination mondiale permanente.

Le TAI et sa forme pratique appelée Temps universel coordonné (UTC) règlent l'ensemble des activités humaines. Ils servent aussi bien dans la vie courante, comme base des temps légaux, que dans les systèmes les plus modernes de navigation, de géodésie spatiale et de télécommunication.

La mesure du temps, la réalisation de la seconde, la réalisation des autres unités du SI et la mesure des autres grandeurs physiques sont liées aujourd'hui beaucoup plus étroitement que naguère. La nouvelle définition du mètre adoptée en 1983 fait appel à une mesure de temps. Les études de lasers, les mesures électriques font constamment appel à des mesures de fréquence. Dans les technologies avancées, on tend de plus en plus à transposer les mesures de grandeurs diverses en mesures de fréquence, plus commodés et plus exactes, en particulier pour les mesures à distance.

Ces diverses considérations ont conduit à la conclusion que la responsabilité du TAI devrait maintenant être transférée à l'organisation intergouvernementale créée par la Convention du Mètre pour coordonner et unifier les mesures des grandeurs physiques. Pour tout ce qui concerne la prise en charge au BIPM de la responsabilité du TAI, le CIPM a agi en liaison étroite avec le BIH et ses Unions parentes, l'Union Astronomique Internationale (UAI), l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI), et l'Union Radioscopique Internationale (URSI). Le transfert du TAI au BIPM a déjà été approuvé par l'URSI et l'UAI. Il y a de bonnes raisons de penser qu'il sera aussi approuvé par l'Assemblée générale de l'UGGI, en 1987, avant la 18^e CGPM.

ORDRE DU JOUR DE LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE

18^e Session — 1987

L'Ordre du jour provisoire (*voir* p. 14) a été adopté comme
Ordre du jour définitif.

PREMIÈRE SÉANCE
DE LA 18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES

tenue au Centre de Conférences internationales
du Ministère des Affaires étrangères
19, avenue Kléber, Paris
le lundi 12 octobre 1987, à 10 h 30

Monsieur Didier BARIANI, Secrétaire d'État auprès du Ministre des Affaires Étrangères, accompagné de Mr Denys WIBAUX, Secrétaire adjoint principal et de Mr Jean-Pierre MASSET, Chef du service des Nations Unies et des Organisations Internationales, ouvre la séance inaugurale de la Conférence en prononçant l'allocution suivante :

« MONSIEUR LE PRÉSIDENT,
« MESDAMES ET MESSIEURS LES DÉLÉGUÉS,

« La Convention du Mètre a prévu que la Conférence Générale des Poids et Mesures se réunirait périodiquement à Paris. J'ai ainsi le grand honneur, au nom du Gouvernement de la République française, de vous accueillir aujourd'hui et d'ouvrir la séance inaugurale de votre assemblée.

« J'apprécie l'occasion qui m'est offerte de souligner l'intérêt que je porte personnellement à vos travaux ; j'attache en effet du prix à ce que les entreprises bénéficient d'un environnement leur permettant de s'épanouir, et une métrologie sûre, internationalement cohérente et accessible à tous les utilisateurs est une des composantes essentielles de cet environnement.

« La création du Système métrique résultait d'un constat sur l'incroyable foisonnement anarchique des unités de mesure existant en France à cette époque ; la complexité des transpositions pour passer d'une unité à l'autre freinait les échanges commerciaux entre les régions et même entre les différents corps de métier.

« Le développement de l'industrie, la multiplication des échanges entre les États ont conduit, dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, à une prise de conscience internationale sur la nécessité de disposer d'un langage commun en matière de mesure. L'objectif principal recherché était alors également de faciliter les échanges mais en étendant cette préoccupation à l'échelle mondiale.

« Cette volonté d'harmonisation s'est concrétisée par la création du Bureau International des Poids et Mesures, placé sous votre autorité, dépositaire des prototypes internationaux et chargé de la comparaison et de l'étalonnage des étalons fondamentaux nationaux. Le Bureau International constituait ainsi le point central rayonnant et diffusant les poids et mesures de base vers les différents pays.

« L'action du Bureau International a immédiatement porté ses fruits en assurant, par le raccordement à une base commune, l'équivalence des mesures effectuées dans tous les pays même si, dans certains d'entre eux, on continuait à en exprimer les résultats en unités pratiques traditionnelles non métriques.

« Le Bureau International a fonctionné longtemps sur ce schéma et a acquis une notoriété universelle méritée. Gravées dans la mémoire de millions d'écoliers, les images du kilogramme en platine iridié et du mètre en X déposés au Pavillon de Breteuil datent de cette époque et font partie de notre fonds de culture commun.

« Qu'en est-il, après plus d'un siècle, des besoins en métrologie et du rôle joué par le Bureau International ?

« Cette période a été marquée par une extraordinaire explosion de techniques nouvelles qui ont ouvert de nouveaux champs d'action à la métrologie, soit en créant des besoins, domaine des télécommunications optiques par exemple, soit en offrant des possibilités insoupçonnées auparavant telles que la commande et l'exploitation par informatique d'instruments automatisés.

« Les modes de production ont également subi de profondes mutations induisant des exigences nouvelles. Les divers éléments d'un même ensemble sont fréquemment construits par des partenaires industriels différents ; pour que l'ensemble puisse s'assembler et fonctionner correctement, chacun des éléments doit répondre à des prescriptions strictes et l'on conçoit que leur contrôle doit se fonder sur des mesures cohérentes entre les partenaires. Par ailleurs les exigences concernant la précision des mesures se sont considérablement accrues avec l'apparition d'équipements complexes et de haute technologie dont certains sont maintenant produits en masse et diffusés dans le grand public.

« La maîtrise de la qualité des produits industriels est un impératif économique majeur qui conditionne la santé, voire la survie, des entreprises. La métrologie est l'un des outils indispensables à mettre en œuvre pour atteindre ce but : il n'y a pas de qualité sans métrologie. Les Gouvernements veillent donc à ce que leurs industries aient un accès facile aux références métrologiques qui leur sont indispensables et puissent, avec l'aide des instituts nationaux, acquérir et faire reconnaître les compétences qui leur sont nécessaires pour les utiliser. On peut d'ailleurs souligner que ces préoccupations sont tout à fait générales et ressenties de la même manière aussi bien dans les pays à économie libérale que dans ceux à économie planifiée.

« Le développement industriel a malheureusement aussi ses revers et engendre des nuisances : le bruit, la pollution, les rayonnements. La protection des citoyens requiert une surveillance précise de ces paramètres et, là aussi, le recours à la métrologie s'impose pour garantir la validité des mesures effectuées.

« La recherche scientifique, la médecine, la sécurité, la navigation, toutes activités ne relevant pas de mon ministère et que je me bornerai à évoquer, fourniraient également des exemples analogues. Il est finalement peu d'activités humaines, de la recherche avancée à l'opération de commerce la plus triviale, peu d'équipements que nous côtoyons dans notre vie professionnelle ou quotidienne, du satellite et de

l'ordinateur au four ménager et au thermomètre médical, où l'on ne rencontre une mesure qui doit en amont se raccorder par une chaîne plus ou moins longue mais continue aux étalons.

« La Conférence Générale des Poids et Mesures a accompagné l'évolution des besoins et en a tiré les conséquences qui s'imposaient pour les unités de base, qui constituent le sommet de la pyramide des mesures. Vous avez, sans heurts et sans hiatus, fait évoluer les définitions des unités pour arriver au système international que nous connaissons maintenant. À l'exception de la masse pour laquelle l'unité est toujours, par convention, la masse du prototype déposé à Sèvres, vous avez abandonné le concept de définir les unités par des étalons matériels détenus par le Bureau International et qui se périment lorsque les techniques de mesure progressent, au profit de définitions beaucoup plus générales et pérennes. Vous avez également élaboré, pour la mise en pratique de ces définitions, des recommandations qu'il suffit de réviser lorsque les techniques évoluent sans qu'il soit nécessaire de modifier les définitions.

« Suivant l'évolution des définitions, les réalisations des unités reposent maintenant sur des expériences complexes, coûteuses et longues à exécuter qui ne peuvent être menées en totalité dans chaque institut et dont les résultats, complémentaires entre eux, doivent donc être collationnés ; il est par ailleurs très profitable de confronter entre eux les résultats obtenus par des moyens et en des lieux différents. L'activité du Bureau International s'est alors progressivement modifiée pour s'adapter aux circonstances : il est le point nodal où s'effectuent ces confrontations et à l'activité d'origine purement « centrifuge », le Bureau diffusant les valeurs des étalons, s'est donc ajoutée une activité « centripète » de collecte des résultats qui, après analyse et critique dans les comités consultatifs, concourent à l'élaboration de ce que je nommerai, et j'espère que vous me pardonnerez l'imprécision du terme, la vérité la plus probable servant de base à l'établissement de vos recommandations.

« Il est clair que, dans ce dispositif, la mission du Bureau International ne se limite pas à une simple compilation des résultats et qu'elle nécessite des compétences scientifiques qui ne peuvent s'acquérir et se maintenir qu'en effectuant des expériences métrologiques de très haut niveau.

« Il ne faut cependant pas que les recherches de pointe que mène le Bureau International masquent l'importance de l'activité, moins prestigieuse certes mais indispensable à maintenir, que constitue le raccordement des références métrologiques de nombreux États. Il faut souligner combien ce service est profitable, en particulier pour les États qui développent actuellement leur industrie car ces raccordements leur permettent d'accéder immédiatement et de plain-pied aux mêmes références métrologiques que celles des autres pays. Il convient de vous féliciter d'avoir su maintenir ce service exemplaire qui met à la disposition de tous les résultats obtenus par les instituts des pays les plus techniquement avancés.

« Les instituts nationaux de métrologie jouent un rôle important dans ce contexte : le Bureau International ne peut remplir sa mission que s'il est assuré de pouvoir disposer de l'appui des laboratoires nationaux dont chacun, dans la mesure de ses moyens, apporte sa pierre à l'édifice commun. Il est important que les Gouvernements soient conscients de la nécessité de poursuivre et d'intensifier les travaux métrologiques de base qui conditionnent les mesures industrielles de demain. Pour la France, je veille à ce que l'action du pays qui a été à l'origine du système métrique et qui est toujours la terre d'élection internationale de la métrologie soit à la mesure à la fois de sa responsabilité historique et des besoins de son industrie.

« Parcourant l'ordre du jour de votre Conférence, j'ai donc souhaité faire le point sur notre participation à quelques-uns des thèmes les plus importants qui vont faire l'objet de vos discussions.

« L'échelle internationale de temps dont chacun ressent l'importance puisque, comme le mentionne le document établi par le Comité International des Poids et Mesures, elle règle l'ensemble des activités humaines, aussi bien dans la vie courante que pour les systèmes les plus modernes de navigation ou de télécommunication, était fondée à l'origine sur des observations astronomiques de la rotation de la terre. Il est apparu très tôt qu'une coordination mondiale et permanente des résultats était indispensable et le Bureau International de l'Heure a été créé à cet effet et placé à l'Observatoire de Paris.

« L'apparition des oscillateurs atomiques et la modification corrélative de la définition de la seconde, le perfectionnement des moyens de comparaison des échelles de temps utilisant notamment les satellites artificiels ont considérablement modifié les conditions expérimentales ; la coordination internationale restait cependant impérative et le Bureau International de l'Heure a continué à en assumer la tâche. Pendant toute cette période, l'Observatoire de Paris a supporté principalement la charge du Bureau International de l'Heure ; ce n'est que récemment que, en raison notamment de l'étroite implication de l'unité de temps dans la définition ou la mesure des autres grandeurs, il a paru plus judicieux de confier au Bureau International des Poids et Mesures la charge d'établir et de diffuser les échelles de temps internationales et vous aurez à vous prononcer sur ce sujet.

« S'agissant des étalons électriques dont on sait l'importance technique et économique et pour lesquels les besoins en précision des utilisateurs talonnent les meilleures réalisations métrologiques, un travail considérable d'expérimentation et de confrontation des résultats obtenus dans les différents pays a été entrepris. Ce travail porte sur les procédés quantiques de conservation du volt et de l'ohm, fondés sur les découvertes de deux prix Nobel de physique, Bryan JOSEPHSON et Klaus von KLITZING, et sur les réalisations de l'ampère, du volt, du farad et de l'ohm effectuées par des méthodes différentes dans les différents pays. J'ai pu constater que la France a pu aussi dans ce domaine apporter une contribution significative.

« Je ne puis cependant me contenter d'une situation dans laquelle le passé et le présent sont satisfaisants : l'avenir exige que nous fassions mieux et plus et le Ministre de l'Industrie réfléchit actuellement aux moyens à mettre en œuvre pour que la métrologie française puisse faire face aux défis technologiques de demain. Je souhaite vivement qu'il en soit de même dans tous les États afin que la coopération internationale, déjà étroite, puisse encore s'intensifier : s'il est en effet évident qu'il est nécessaire d'être fort pour pouvoir donner, il est non moins indispensable de l'être pour recevoir avec profit.

« Revenant à la Conférence Générale des Poids et Mesures et pour conclure mon propos, je remarque que vous avez su au cours des ans, avec une sagesse non dénuée de hardiesse et par une collaboration internationale exemplaire, adapter le Système international d'unités à l'évolution des besoins et orienter judicieusement les travaux du Bureau International ; je sais quelle est la qualité des services qu'il rend et combien ils sont appréciés par les États qui y font appel et notamment par ceux qui ne disposent pas encore de moyens nationaux suffisants.

« Je voudrais enfin, Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs les délégués, souligner combien il m'a été agréable d'ouvrir la réunion de votre Conférence et souhaiter un plein succès à vos travaux, ce dont je ne doute pas connaissant votre compétence et l'esprit qui vous anime. »

Mr D. KIND, président du Comité International des Poids et Mesures, répond en ces termes :

« J'apprécie hautement, Monsieur le Ministre, l'occasion que me donne l'ordre du jour traditionnel de la Conférence Générale de vous remercier pour les paroles bienveillantes avec lesquelles vous nous avez fait l'honneur d'accueillir cette 18^e Conférence. En exprimant ces remerciements, je suis certain d'être le porte-parole de tous les délégués présents.

« Il n'y a rien à ajouter à l'aimable rappel que vous venez de faire de l'importance de la Convention du Mètre pour la science et l'économie mondiales. C'est effectivement votre Pays, Monsieur le Ministre, qui, depuis le tout début, a apporté son soutien et donné l'hospitalité aux organes représentatifs de cette Convention, dont la tradition est si riche et l'importance si grande pour le monde entier. Cela est devenu particulièrement évident dans la période actuelle où le Bureau International des Poids et Mesures essaie, en rénovant et agrandissant certains bâtiments, de créer les conditions matérielles indispensables aux travaux métrologiques modernes. Précisément dans ce genre de travaux, nous dépendons aussi de la bonne coopération avec les autorités françaises, coopération établie de longue date et qui a déjà montré toute son efficacité dans le passé.

« En ce qui concerne cette 18^e Conférence Générale des Poids et Mesures, une fois de plus nous remercions Votre Gouvernement et espérons que les décisions prises pendant cette Conférence rempliront pleinement l'attente des Pays membres de la Convention du Mètre. »

Mr A. HOREAU, président de la Conférence, président de l'Académie des Sciences, prononce l'allocution suivante :

MONSIEUR LE MINISTRE,
MESDAMES, MESSIEURS,

« L'Académie des Sciences est fière d'assurer, comme tous les quatre ans, la présidence de cette 18^e Conférence Générale des Poids et Mesures.

« Elle apprécie le sérieux et la qualité de vos travaux, conduits avec sérénité, et elle a conscience de l'importance des résultats que vous apportez en serrant toujours de plus près la vérité.

« Vous savez que notre académie comporte deux « divisions » : celle des Sciences mathématiques et physiques et celle des Sciences chimiques, naturelles, biologiques et médicales. Le Président est choisi alternativement dans l'une de ces divisions. Par suite de la cadence, quadriennale, de vos réunions et celle de nos élections, biennales, vous aurez toujours devant vous pour l'ouverture de vos conférences un membre de la deuxième division moins qualifié pour comprendre et discuter vos travaux dans toute leur finesse.

« Aussi c'est le vice-président, appelé quasi automatiquement à la future présidence de notre académie, Jean AUBOIN qui suivra et dirigera vos débats. Il appartient à la section des sciences de l'Univers et est spécialisé dans l'Océanographie où la mesure et sa précision jouent un rôle primordial.

« Si j'appartiens à la deuxième division, j'y siége dans la section de chimie et je voudrais, en quelques instants, vous montrer comment, après bien des obscurités, c'est la mesure qui a conditionné la naissance et permis le développement d'une chimie réellement scientifique et devenue indispensable au bien-être matériel de l'humanité.

« Jusqu'à l'époque de la Renaissance, les préoccupations des alchimistes étaient principalement orientées vers la découverte de la « pierre philosophale » qui devait permettre de transformer en or les métaux communs. L'importance de cette découverte, qui apporterait la richesse à son inventeur, explique le secret qui entourait ces recherches et la description, volontairement falsifiée, de certaines manipulations. Il faut ajouter à cette volonté de mystère des pratiques de magie et d'astrologie. Plus tard, vers la fin du XVII^e siècle la théorie du phlogistique, bien que fautive dans sa nature, eut le mérite d'une certaine rationalisation. Mais il fallut attendre Lavoisier pour voir s'établir les bases solides de la chimie.

« Voici à ce sujet comment s'est exprimé Louis Pasteur que nous fêtons cette année à Paris: « Le trait le plus caractéristique de l'œuvre de Lavoisier c'est, à mon sens, d'avoir introduit dans la chimie l'esprit de la physique... » et plus loin, « En apprenant aux chimistes l'usage de la balance, du thermomètre, du baromètre et du calorimètre en portant leur attention sur les propriétés de la matière que l'on peut soumettre à des *déterminations numériques exactes*, Lavoisier leur a ouvert des routes inconnues qui conduisent sûrement à la vérité. »

« Cet éloge de Lavoisier, à l'occasion de la publication de ses œuvres complètes par J. B. Dumas, est sans doute excessif. Les instruments de mesure auxquels il est fait allusion étaient connus et utilisés depuis longtemps par les chimistes avant Lavoisier ; mais c'est lui qui, le premier, en a fait une méthode de démonstration expérimentale.

« Un exemple très significatif de cette introduction de la mesure en chimie à une fin de démonstration est la célèbre série d'expériences sur l'analyse et la synthèse de l'eau, réalisée au début de 1785 devant l'Académie des Sciences. Lavoisier y attachait une grande importance et il avait rassemblé autour de lui, outre les membres de sa classe, d'autres témoins et un représentant de l'administration royale. Une certaine quantité d'eau était pesée avec précision et décomposée par du fer chauffé au rouge ; l'hydrogène recueilli, dont le volume était mesuré soigneusement, était recombinaison à l'oxygène par étincelle électrique, dans un ballon taré ; on pesait alors l'eau formée.

« Lavoisier démontrait ainsi que l'eau est formée d'hydrogène et d'oxygène dans des proportions définies ; c'était, de plus, un argument très fort contre la théorie du phlogistique. On connaît sa célèbre formule : « dans toute réaction chimique, la masse ne se perd ni ne se crée ».

« Il est intéressant de noter que, un siècle et demi plus tôt, un médecin, Jean Rey, qui consacrait ses loisirs à la chimie, avait émis l'idée, capitale, que c'est l'air qui est responsable de l'augmentation de poids de certains métaux, comme l'étain ou le plomb, quand on les calcine. Bien plus, il a été sans aucun doute le premier à

postuler le principe de conservation de la matière, bien que cette affirmation soit passée inaperçue. Sa formule « le poids que chaque portion de matière prend au berceau elle le portera jusqu'au cercueil », rappelle étrangement celle de Lavoisier.

« Cette notion essentielle de l'invariabilité des masses durant les réactions chimiques a permis d'établir une discrimination très nette entre les corps simples, les corps composés et les mélanges. Dès 1789 Lavoisier donnait une définition expérimentale claire de « l'élément ». Il comprit aussi la nécessité d'une révision totale de la nomenclature. Publiée en 1787 avec l'aide de plusieurs contemporains chimistes sous le nom de « Méthode de nomenclature chimique », sa nomenclature repose sur le principe que le nom donné à une substance doit rappeler sa constitution et son degré d'oxydation. Évidemment certaines appellations perdaient en poésie puisque l'oxyde de fer par exemple remplaçait le « safran de Mars » et le nitrate d'argent, les « cristaux de Lune ».

« Beaucoup plus tard, on a cherché le moyen de préciser un coefficient qui soit caractéristique de la capacité de combinaison de chaque élément. On a établi ainsi l'édifice des « poids atomiques » que l'on peut définir comme la plus petite masse d'un élément susceptible d'intervenir dans une combinaison quelconque, rapportée à celle d'un élément de référence. On sait que l'hydrogène auquel était rattaché le premier système a été remplacé par l'oxygène beaucoup plus réactif.

« On dispose ainsi d'une liste de nombres dont chacun correspond à un élément et ces nombres varient de 1 à plus de 250.

« Prout en 1815 avait émis l'hypothèse que tous les éléments devaient être considérés comme la condensation du plus léger d'entre eux, l'hydrogène, qu'il appelait le « protyl » et qui se rapprocherait de ce que nous appelons aujourd'hui le proton ; l'amélioration de la précision des mesures, en apportant des décimales, devait détruire cette hypothèse. Cependant la découverte des isotopes, en expliquant certaines anomalies, devait révéler que cette conception n'était pas absurde. On a tenté évidemment diverses classifications des éléments, mais c'est le grand chimiste russe Mendéléev qui a proposé une solution audacieuse en énonçant une loi naturelle : à savoir que si on groupait les éléments dans l'ordre croissant de leur masse atomique, on retrouvait le retour périodique de certaines analogies physico-chimiques.

« À cette époque on ne connaissait que 63 éléments et avec une intuition géniale, convaincu de la véracité de sa loi, il n'a pas hésité à laisser des cases vides dans son tableau et à inverser le tellure 128 et l'iode 127. Les cases vides devaient par la suite se remplir progressivement et le remplacement de la masse atomique par le numéro atomique devait tout expliquer. Cette liste est un merveilleux panorama de tous les éléments qui composent l'univers et son édification a, bien entendu, reposé sur une connaissance précise des poids atomiques.

« Maintenant, grâce notamment aux rayons X, nous connaissons la structure spatiale exacte de beaucoup de molécules complexes. Cette connaissance précise de la dimension des molécules a une importance capitale. J'en donnerai seulement quelques exemples : on sait maintenant préparer par synthèse des molécules organiques, en forme de couronne et qui possèdent un « trou » au milieu. Il peut s'y introduire un élément, par exemple potassium, sodium, etc., mais cette introduction dépendra très fortement de la dimension de l'orifice, d'où la possibilité de séparer, et d'isoler un élément qui se trouve en solution à côté d'autres éléments.

« On peut isoler aussi par ce procédé des particules chargées ; si un cation est ainsi capté, il reste en solution un anion séparé de son partenaire habituel et on peut effectuer des réactions dites « anioniques ».

« Parfois dans une molécule, des groupements fonctionnels se trouvent à des distances convenables pour « chélater » et emprisonner un métal. Ce fait peut donner lieu à des applications thérapeutiques intéressantes et inattendues. Il existe une maladie héréditaire, heureusement très rare, appelée maladie de Wilson et qui est due chez l'enfant à une rétention du cuivre dans l'organisme. Ce cuivre s'accumule notamment dans le foie et dans les noyaux gris centraux. Il en résulte des lésions très graves et irréversibles et la maladie est mortelle. Le traitement actuel, d'autant plus efficace qu'il est précoce, consiste à administrer de la D-pénicillamine ; dans ce composé les distances entre un groupement acide et un groupe amine sont telles que le cuivre ionique est « chélaté » et la combinaison éliminée dans les urines.

« Restons dans le domaine de la thérapeutique et de la physiologie en soulignant l'importance de l'examen des molécules et de leurs dimensions précises. Il est remarquable qu'un œstrogène artificiel (de synthèse), le diéthylstibœstrol, possède entre les deux fonctions situées à chaque extrémité une distance de 8,55 Å ; c'est la même distance que l'on retrouve dans l'hormone naturelle l'œstrone — or les deux produits possèdent le même effet physiologique très caractéristique.

« On peut donc en physiologie et en thérapeutique examiner une molécule dans sa structure spatiale complète et imaginer des structures voisines obtenues par exemple en remplaçant dans un cycle un groupement $-CH_2$ par un atome d'oxygène de même volume. Le récepteur biologique s'y trompe et on peut obtenir soit un effet identique soit, au contraire, un effet antagoniste. Cette notion d'« isostérie » a rendu de grands services.

« Je voudrais, pour terminer, insister sur le fait que, si en chimie les expériences sont reproductibles, elles ne sont pas prévisibles.

« Reproductibles : il existe de nombreux livres de « recettes » comme « organic synthesis » dans lesquels la préparation de centaines de produits chimiques est décrite avec minutie. Ces recettes ayant été testées avant publication dans plusieurs laboratoires différents, n'importe quel chimiste retrouve exactement les produits décrits avec leur caractères physiques et le rendement de la réaction.

« Par contre certaines prévisions sont impossibles.

« Malgré la connaissance extrêmement précise que nous avons maintenant, en chimie organique par exemple, des structures des molécules, de la position des atomes dans l'espace, de leur distance, des angles valentiels, il est impossible de prévoir le point de fusion qui est pourtant une caractéristique essentielle.

« On pourrait en dire autant des solubilités dans les divers solvants. Dans toutes les synthèses, l'expérimentation précède l'explication — la manipulation bien conduite est essentielle et la main a autant d'importance que le cerveau.

« Depuis plus de deux siècles la chimie a donc progressé grâce à la mesure qui, cependant, si elle est toujours nécessaire, est souvent insuffisante.

« Vos travaux vont se dérouler sous le signe de la précision, et vos résultats, vos recommandations intéressent vivement l'Académie des Sciences. Mon prédécesseur à

la Présidence, Mr Blanc-Lapierre, a fait il y a quatre ans devant notre académie un exposé détaillé de votre 17^e Conférence et de vos décisions. Il a insisté sur la nouvelle définition du mètre. Cet exposé, très documenté, a paru dans une revue que nous éditons : *La Vie des Sciences*.

« Vos réunions, qui rassemblent une telle variété de participants, vont se dérouler dans une ambiance exemplaire et je souhaite un plein succès à vos travaux. »

*
* *

Après une interruption d'environ trente minutes, la Conférence reprend ses travaux sous la présidence de Mr J. A. AUBOUIN, vice-président de l'Académie des Sciences, remplaçant le président A. HOREAU, retenu par les célébrations du centenaire de la création de l'Institut Pasteur.

2, 3, 4. Sur proposition de Mr AUBOUIN, la 18^e Conférence Générale désigne par applaudissements Mr J. DE BOER, secrétaire du CIPM, comme secrétaire de la Conférence.

Les titres accréditant les délégués ayant été remis au préalable, le Secrétaire procède à l'établissement de la liste des délégués chargés du vote, par État. Cette liste s'établit comme suit :

Afrique du Sud.....	MM.	HEYMANN
Allemagne (Rép. Fédérale).....		GERMAN
Allemande (Rép. Démocratique)....		MÖBIUS
Amérique (États-Unis d')		AMBLER
Argentine.....		STEINBERG
Australie.....		BLEVIN
Autriche		LEWISCH
Belgique		VOORHOF
Brésil.....		SALA
Bulgarie		ZLATAREV
Canada		PRESTON-THOMAS
Chine (Rép. Pop. de).....		BAI
Corée (Rép. de)		KANG
Corée (Rép. Pop. Dém. de).....		RI
Danemark.....		JENSEN
Espagne		MARTIN PEÑA
Finlande.....	Mme	LÄHTEENMÄKI
France	MM.	BLOUET
Hongrie.....		BELEDI
Inde.....		JOSHI
Irlande.....		FARRAGHER
Israël.....		SHENHAR
Italie		BRAY
Japon		IZUKA
Norvège		BIRKELAND
Pays-Bas.....		DE WOLF

Pologne.....		PODGÓRSKI
Portugal.....		CRUZ
Roumanie.....		BUCARU*
Royaume-Uni.....		DEAN
Suède.....		SIEGBAHN
Suisse.....		KOCH*
Tchécoslovaquie.....		HILL
Thaïlande.....	Mlle	KANCHANALAI
Turquie.....	MM.	ALTAN
URSS.....		MEKHANNIKOV
Yougoslavie.....		MEZEK

Sur les quarante-sept États signataires de la Convention du Mètre, trente-sept sont représentés.

5. Approbation de l'ordre du jour

L'ordre du jour provisoire proposé dans la Convocation (p. 14) est adopté sans changement comme ordre du jour définitif.

6. Le PRÉSIDENT donne la parole à Mr Kind, président du CIPM, pour la présentation de son rapport.

Rapport du Président du Comité International sur les travaux accomplis depuis la 17^e Conférence Générale (octobre 1983 — octobre 1987)

Conformément à l'article 7 du Règlement annexé à la Convention du Mètre, j'ai le plaisir, en tant que président du Comité International des Poids et Mesures (CIPM), de présenter à la Dix-huitième Conférence Générale mon rapport sur les travaux accomplis depuis la Dix-septième Conférence Générale. Ce rapport couvre donc les quatre années écoulées depuis le mois d'octobre 1983.

Cette période a été très active pour le CIPM, pour ses Comités Consultatifs et pour le BIPM: le CIPM a revu en profondeur le programme à long terme des travaux scientifiques du BIPM, ce qui a eu pour conséquence une répartition différente de l'effort consacré à certains domaines plutôt qu'à d'autres. Il a été décidé de prendre totalement en charge la responsabilité du Temps atomique international, et d'effectuer le transfert de cette activité de l'Observatoire de Paris au BIPM. Durant cette période, le bâtiment des lasers a été terminé et la décision a été prise d'entreprendre la construction d'un nouveau bâtiment pour la bibliothèque et des bureaux, en particulier ceux des services administratifs. Dans le domaine de l'électricité et de la thermométrie, les comités consultatifs préparent actuellement des décisions importantes relatives aux changements prochains de la valeur des représentations du volt et de l'ohm, et au remplacement de l'Échelle internationale pratique de température de 1968.

* Les représentants de la Roumanie et de la Suisse n'ont pas pu assister aux trois premières séances.

La métrologie évolue sans cesse à un rythme soutenu. Les progrès constants de la science et l'accroissement rapide des échanges mondiaux de produits et de services de haute technologie ont pour conséquence d'augmenter la demande de précision et d'uniformité mondiale des mesures. Les ressources du BIPM sont nécessairement limitées, aussi est-il d'une importance cruciale que le CIPM définisse avec soin les orientations qui répondent le mieux aux besoins parfois divergents des États membres. En 1984 et 1985, le CIPM a étudié en détail les orientations du BIPM sur le plan scientifique. Les conclusions de cette étude ont été publiées dans les Procès-verbaux de la session de 1985 du CIPM. Elles sont données en détail dans le document « Programme de travail et budget du Bureau International des Poids et Mesures dans les quatre années 1989-1992 » qui est soumis à l'approbation de la présente Conférence Générale. Des choix de cette nature ne sont jamais faciles à effectuer dans un laboratoire qui fonctionne bien, et dans lequel tous les aspects du travail sont utiles. Pour faire face aux besoins pressants de services nouveaux, notamment dans le domaine de la radiométrie, et à une diminution des ressources en personnel occasionnée par le départ à la retraite de stagiaires de longue durée, comme c'est le cas actuellement dans la section des rayonnements ionisants, avec un budget global à peu près constant, il a fallu établir des priorités. Les membres du CIPM ont décidé de ces priorités, qu'ils soumettent à votre approbation.

Le programme de construction de nouveaux bâtiments au BIPM établi par le CIPM au début des années 1980 est étroitement lié au plan à long terme des travaux scientifiques. Les grandes lignes de ce programme ont été présentées à la Dix-septième Conférence Générale par mon prédécesseur, avec les justifications détaillées des nouveaux bâtiments proposés. Au cours des soixante-dix dernières années, 8 % environ du budget annuel ont été, en moyenne, consacrés aux travaux d'entretien et de rénovation des bâtiments. Des crédits supplémentaires ont été nécessaires pour répondre aux besoins en bâtiments occasionnés par un accroissement de nos activités. Par exemple, l'extension de l'Observatoire en 1929 et la construction d'un nouveau bâtiment pour la section des rayonnements ionisants en 1964 n'ont pas été financées par le budget annuel. Les travaux importants de rénovation et de réparation du Pavillon de Breteuil lui-même en 1928 et en 1954, par contre, ont été financés sur le budget annuel, ainsi que de nombreux travaux effectués à l'intérieur de l'Observatoire pour aménager de nouvelles salles mieux adaptées pour les laboratoires, travaux dont les plus récents remontent à 1970.

En consacrant en moyenne 10 à 11 % du budget annuel (au lieu des 8 % habituels) aux bâtiments, pour la période de 1983 à 1989, le CIPM a prévu non seulement d'assurer l'entretien courant mais aussi de construire deux bâtiments nouveaux. Le premier, le bâtiment des lasers, était en construction à l'époque de la précédente Conférence Générale ; il a été décrit en son temps par mon prédécesseur. Le bâtiment des lasers a été mis en service en 1984 et a donné depuis lors entière satisfaction. Le second bâtiment, que nous avons décidé d'appeler le « Nouveau Pavillon », est actuellement en construction. Il est destiné à la bibliothèque et à des bureaux ; il est construit sur l'emplacement des garages, au nord du Grand Pavillon. Il doit être clair pour tous que la construction d'un nouveau bâtiment à proximité du site historique du Pavillon de Breteuil doit satisfaire à des exigences particulières dans la conception et la réalisation. Vous pourrez apprécier les progrès accomplis au cours de votre visite au BIPM demain. Nous espérons que ce bâtiment pourra être occupé en septembre 1988.

Les plans de ces deux bâtiments ont été mis au point avec notre architecte, après consultation des autorités françaises. J'aimerais à cette occasion remercier le

Gouvernement français pour sa compréhension et son aide, et pour la rapidité avec laquelle son approbation nous a été donnée pour la construction de ces deux bâtiments.

Le nouveau bâtiment des lasers et le Nouveau Pavillon représentent, bien sûr, des projets substantiels en eux-mêmes, mais ils doivent être considérés dans le cadre de la remise en état et de la modernisation des installations du BIPM. Cette modernisation offrira des locaux supplémentaires et un environnement contrôlé de façon plus rigoureuse, comme l'exige la métrologie moderne. Il incombe au CIPM d'assurer que sur ce point, comme sur d'autres, les installations du BIPM peuvent répondre aux exigences de plus en plus impératives auxquelles il doit faire face.

J'en viens maintenant à la question du Temps atomique international, TAI. Les États membres ont été informés en 1985 de l'action du CIPM dans ce domaine. Les informations qui sont résumées dans l'annexe à la Convocation à la Conférence Générale sont reprises dans le document « Programme de travail et budget du BIPM dans les quatre années 1989-1992 » qui a été distribué aux États membres au début de 1987. Le Temps atomique international est une échelle de temps uniforme, formée à partir des indications des horloges atomiques des laboratoires. Il fournit la base du Temps universel coordonné, UTC, qui est l'échelle de temps pratique mondiale. En vertu de l'autorité qui lui a été conférée par les Résolutions 1 et 2 de la Quatorzième Conférence Générale, autorité confirmée par la Résolution 4 de la Quinzième Conférence Générale, le CIPM a décidé en octobre 1984 de prendre en charge la responsabilité de l'établissement du TAI au BIPM à compter du 1^{er} mars 1985. Cette décision a été prise après consultation et avec l'assentiment de l'Observatoire de Paris, et après consultation des principales unions internationales concernées, c'est-à-dire l'Union astronomique internationale, l'Union géodésique et géophysique internationale et l'Union radio-scientifique internationale. Toutes ces organisations ont maintenant ratifié formellement leur précédente approbation du transfert du TAI au BIPM, et le CIPM demande donc à la présente Conférence Générale dans le projet de résolution C de confirmer cette décision. Lors de sa décision initiale en 1984, le CIPM estimait qu'il lui faudrait demander à la présente Conférence Générale d'augmenter la dotation de 6 ou 7 % pour couvrir les dépenses additionnelles dues à la prise en charge du TAI au BIPM : ces dépenses correspondent à l'engagement de quatre personnes supplémentaires, pour porter à cinq le nombre de personnes travaillant dans la section du TAI, plus les dépenses de fonctionnement. Toutefois, le CIPM a pu intégrer progressivement ces dépenses supplémentaires dans le budget annuel, le rythme de l'augmentation du coût de la vie en France ayant été depuis 1985 inférieur aux prévisions faites en 1983. Pour les années 1986 et 1987, le BIPM a été autorisé à dépasser le budget annuel de 900 000 francs-or et 450 000 francs-or respectivement ; il est prévu pour 1988 et les années suivantes de couvrir toutes les dépenses relatives au TAI dans le budget annuel.

La prise en charge de la responsabilité totale du TAI est un pas important dans le développement du BIPM. Elle met en relief le changement fondamental qui est intervenu dans la mesure du temps depuis 1967, date à laquelle la seconde a été définie pour la première fois à partir d'un phénomène atomique, réalisé en laboratoire, plutôt qu'à partir du mouvement de la Terre. Des signes avant-coureurs annoncent d'autres changements dans un proche avenir. Les progrès rapides qui sont faits actuellement dans la spectroscopie d'ions isolés suggèrent que les domaines de la métrologie du temps, des fréquences et des longueurs seront de plus en plus intimement liés. Cela confirme, s'il en est besoin, qu'il était opportun pour le CIPM de prendre en charge le TAI, base de l'échelle de temps mondiale. Avant de continuer, j'aimerais, au nom de la Conférence Générale, remercier officiellement l'Observatoire de Paris et

le Bureau International de l'Heure qui ont jusqu'ici pris en charge la plus grande partie de la responsabilité de la mise au point du TAI et qui ont coopéré étroitement avec le Comité International durant le transfert de la responsabilité du TAI au BIPM.

Je traiterai maintenant de l'activité des comités consultatifs. Depuis la précédente Conférence Générale, il y a eu huit réunions des comités consultatifs : deux réunions du Comité Consultatif de Thermométrie (CCT) et une réunion respectivement du Comité Consultatif des Unités (CCU), du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS), du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (CCM), du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (CCEMRI), du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR) et du Comité Consultatif d'Électricité (CCE). De plus, les Sections du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants se sont réunies en tout quatre fois.

Lors des prochaines séances, le président de chaque comité consultatif présentera son rapport sur l'activité de son comité depuis la Dix-septième Conférence Générale. Il n'est pas dans mes intentions d'anticiper sur leur discours mais, tout en laissant au président de chaque comité consultatif le soin de les présenter en détail, j'aimerais mentionner brièvement deux points importants qui relèvent de ces comités. Ce sont, d'une part, le changement à venir des valeurs qu'il convient d'attribuer aux représentations pratiques des unités électriques et, d'autre part, le remplacement probable de l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (EIPT-68) par une nouvelle échelle internationale de température. Ces changements dans le domaine de l'électricité et de la thermométrie sont d'une grande importance, car leur ordre de grandeur est tel qu'ils seront clairement perceptibles par certains utilisateurs. Dans aucun de ces domaines nous ne parlons d'un changement de la définition de l'unité de base. Il n'est pas question d'un changement semblable à celui de la définition du mètre qui a eu lieu lors de la précédente Conférence Générale. La nécessité d'un changement résulte de travaux métrologiques récents révélant que les résultats précédents étaient sans nul doute entachés d'erreurs appréciables. Bien sûr, de telles erreurs, qui existent toujours, sont continuellement découvertes et corrigées. C'est une des tâches des laboratoires nationaux de métrologie de s'assurer que les erreurs attachées aux déterminations métrologiques fondamentales sont suffisamment petites pour que, lorsqu'elles sont découvertes, leur correction n'entraîne aucun changement perceptible par l'utilisateur. De temps en temps, toutefois, il arrive que des travaux nouveaux entraînent des corrections qui sont perceptibles par les utilisateurs, comme c'est le cas à présent dans les domaines de l'électricité et de la thermométrie. Les résultats des nouvelles mesures électriques fondamentales ont révélé que les valeurs attribuées aux représentations nationales du volt présentent par rapport au volt du SI des écarts qui peuvent atteindre huit millièmes, et entre elles des écarts qui peuvent atteindre six millièmes. L'uniformité mondiale des mesures exige que les changements appropriés soient effectués. La nature de ces changements et la date à laquelle ils auront lieu doivent être décidées et coordonnées par le Comité Consultatif d'Électricité ; je laisserai le président du CCE vous informer de la situation présente.

En ce qui concerne la thermométrie, les changements seront probablement sensibles dans de multiples domaines. Nous savons maintenant que les résultats de toutes les mesures de température faites à l'aide du thermomètre à gaz, résultats sur lesquels les valeurs de l'EIPT-68 étaient fondées, étaient considérablement erronés. L'ordre de grandeur des erreurs en question est d'environ cinq millièmes de kelvin à la température de 20 °C, il augmente aux températures plus élevées. La valeur attribuée à la

température du point d'ébullition de l'eau, par exemple, est erronée d'environ trois dixièmes de kelvin et à la température de 800 °C l'erreur est de l'ordre d'un demi kelvin. Les mesures de température, et par conséquent toutes les mesures thermophysiques, faites en utilisant l'EIPT-68 sont donc en désaccord avec les températures thermodynamiques. Le CCT travaille à présent sur le projet d'une nouvelle échelle de température ; je laisserai le soin à son président de vous exposer ce point plus en détail.

C'est dans ce genre de circonstances que la nature intergouvernementale de la Convention du Mètre revêt toute son importance. Les changements des représentations pratiques des unités touchent le monde entier. La coordination qui permet d'effectuer ces changements sans heurts ne serait pas possible sans l'autorité incontestée de la Conférence Générale.

Je traiterai maintenant de la composition du CIPM. J'ai la tristesse de vous informer du décès de deux membres, Luiz Cintra do Prado en février 1984 et Vladimir I. Kiparenko, à la suite d'un malheureux accident, en octobre 1985. Les sages conseils qu'ils nous prodiguaient avec franchise lorsqu'ils étaient membres du CIPM nous feront gravement défaut.

La mort a aussi touché deux membres honoraires du CIPM, Allan V. Astin en 1984 et Louis de Broglie en 1987. Allan V. Astin fut directeur du NBS de 1952 à 1969 et membre du CIPM de 1954 à 1969. Louis de Broglie, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Paris, a été membre du CIPM de 1946 à 1951.

J'aimerais maintenant rendre hommage à mon prédécesseur comme président du CIPM, Mr J. V. Dunworth. Le Dr Dunworth a rempli avec distinction le rôle de président du CIPM de 1975 à octobre 1984. De nombreux changements ont vu le jour au CIPM et au BIPM sous sa présidence, et nous lui sommes reconnaissants pour ses conseils avisés et sa direction durant ces années. Lors de sa démission du CIPM en octobre 1984, il en a été élu membre honoraire.

Trois autres membres ont donné leur démission depuis octobre 1983. Le Dr B. Guinot a démissionné en avril 1984 après avoir présidé le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde depuis 1980. Il a ultérieurement été engagé au BIPM comme chercheur principal associé pour diriger la section du Temps atomique international chargée de l'établissement des échelles de temps. Le Dr Kawata a démissionné en mars 1985, et Mr Perlstain a démissionné en octobre 1985 après avoir présidé le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées depuis sa création en 1980.

Le CIPM a comblé les six vacances correspondantes en cooptant le Dr J. Kovalevsky en novembre 1984, le Dr P. Dean en mars 1985, le Dr A. P. Mitra en septembre 1985, le Dr K. Iizuka en février 1986, le Professeur O. Sala en avril 1986 et le Dr A. I. Mekhannikov en septembre 1986. En vertu de l'article 8 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre, ces élections provisoires doivent être maintenant soumises à la Conférence Générale. Les noms de trois autres membres du Comité ont été tirés au sort pour porter à neuf le nombre des membres à élire ou ré-élire par la Conférence Générale.

Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)

J'en viens maintenant au rapport que le directeur du BIPM a préparé sur les travaux accomplis dans les laboratoires du BIPM, au Pavillon de Breteuil, depuis la Dix-septième Conférence Générale, c'est-à-dire depuis 1983.

Longueurs

Étalons à traits. — La comparaison internationale de règles divisées commencée en 1976 s'est terminée en 1984 par la publication, par le BIPM, de deux rapports détaillés. L'un contenait les résultats obtenus par les onze laboratoires participants et l'autre était une description du travail effectué au BIPM.

Deux règles à traits ont été utilisées dans cette comparaison, l'une de 1 m de longueur et l'autre de 500 mm de longueur. Des mesures ont été faites au BIPM sur la règle de 1 m en 1976, 1978, 1980, 1983 et 1984 et sur la règle de 500 mm en 1975 et 1978. Cette dernière, dont les traits avaient été gravés suivant une méthode nouvelle, expérimentale, fut retirée de la comparaison car elle ne donnait pas des résultats suffisamment reproductibles. Les mesures faites au BIPM sur la règle de 1 m montrèrent qu'entre 1976 et 1978 la longueur de l'intervalle principal de la règle a augmenté brusquement de $0,13 \mu\text{m}$. Cet allongement reste inexpliqué. Cela contraste avec l'écart-type des mesures effectuées au BIPM qui est de l'ordre de $0,02 \mu\text{m}$. Une analyse détaillée de l'ensemble des résultats de cette comparaison a été faite au BIPM et dans mon rapport comme président du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), je ferai quelques remarques à ce sujet. En plus des mesures relatives à cette comparaison internationale, des règles à traits ont été étalonnées pour la République Démocratique de Corée, la France, l'Irlande, le Pakistan, la Pologne, le Portugal, la Tchécoslovaquie, la Yougoslavie et le Centre européen de recherche nucléaire (CERN).

Étalons à bouts plans. — Nous avons utilisé l'interféromètre Tsugami pour mesurer des calibres pour la République Démocratique de Corée, la Belgique, la France, la Hongrie, Israël, le Portugal, la Suisse, la Tchécoslovaquie et la Yougoslavie.

Conformément à la décision du CIPM en 1985 de réduire cette activité métrologique classique, les calibres dont la longueur est inférieure à 250 mm ne sont plus acceptés pour être mesurés depuis le 1^{er} janvier 1987. Ceci marque la fin de l'utilisation régulière de l'interféromètre Tsugami qui est en service depuis 1971. Il avait été acquis grâce à l'aide généreuse du laboratoire national japonais et de la compagnie Tsugami. Les calibres de longueur supérieure à 250 mm continueront à être mesurés à l'aide du comparateur photoélectrique.

Base géodésique. — Des fils et rubans géodésiques ont été étalonnés pour la République Fédérale d'Allemagne, la France, le Portugal et la Yougoslavie et près de 300 kg de fil invar ont subi un traitement thermique. Plus de 100 fils géodésiques ont subi un traitement mécanique connu sous le nom de « battage ». Suivant la décision du CIPM prise en 1985 de cesser tout travail dans ce domaine, nous n'acceptons plus de pratiquer ni traitement thermique ni traitement mécanique sur les fils d'invar, ni d'étalonner des fils et rubans géodésiques. C'est une activité qui commença il y a plus de 80 ans après la découverte de l'invar par Ch.-Éd. Guillaume, alors directeur du BIPM, et pour laquelle il reçut le Prix Nobel de physique en 1920.

Lasers. — L'adoption par la 17^e Conférence Générale de la nouvelle définition du mètre et la promulgation par le CIPM dans le même temps de la « mise en pratique » de la nouvelle définition, fondée largement sur l'utilisation de radiations émises par des lasers, ont renforcé l'importance du programme de travail sur les lasers au BIPM. Le travail effectué depuis octobre 1983 comprend les activités suivantes : la conservation d'un groupe de lasers à hélium-néon asservis sur des raies d'absorption de l'iode ou du méthane et émettant certaines des radiations recommandées dans la « mise en pratique » de la définition du mètre ; des études théoriques et expérimentales de facteurs affectant la reproductibilité et la stabilité de la fréquence de ces lasers et le

calcul de la position et de l'intensité de raies du spectre de l'iode. Ce travail a été considérablement facilité par le déplacement de la section laser du bâtiment de l'observatoire au nouveau bâtiment des lasers inauguré par le président du CIPM en octobre 1984. Trois ans d'expérience dans ces laboratoires ont à tous égards confirmé la qualité du bâtiment. Depuis plus de onze années, nous avons en état de fonctionnement un groupe de lasers à hélium-néon asservis sur l'iode émettant à la longueur d'onde de 633 nm. Ils ont été régulièrement utilisés pour des comparaisons internationales. Les différences de fréquence entre les cinq lasers composant ce groupe sont restées, en valeur relative, inférieures à 5×10^{-11} . La « mise en pratique » de la définition du mètre spécifie un certain nombre de longueurs d'onde et de fréquences ainsi qu'un certain nombre d'intervalles de fréquence. Nous avons remesuré très soigneusement une partie de ceux-ci. Nos mesures ont confirmé les valeurs données en 1983 mais avec des incertitudes considérablement plus faibles, réduites parfois d'un facteur cent. Parmi les facteurs qui limitent la reproductibilité de la fréquence des lasers asservis sur l'iode, il y a ceux qui concernent directement la qualité de la cuve à iode. Nous étudions actuellement les paramètres critiques pour la construction, le remplissage et l'utilisation des cuves à iode et nous organiserons prochainement une comparaison internationale de cuves à iode.

Des études théoriques et expérimentales ont été faites en collaboration avec le Laboratoire primaire du temps et des fréquences (LPTF) (Paris), le Laboratoire de l'horloge atomique (Orsay) et le Laboratoire de physique des lasers (Villetaneuse) sur le laser à hélium-néon asservi sur le méthane. L'influence de l'« effet de lentille » a été étudiée. En partant d'un modèle théorique, un dispositif optimal a pu être déterminé pour minimiser les perturbations produites par cet effet. La réalisation pratique de ce dispositif a confirmé les prédictions théoriques et un progrès considérable a été réalisé dans la compréhension des facteurs qui peuvent affecter la fréquence de la radiation émise par un laser à hélium-néon asservi sur le méthane. Les lasers à hélium-néon utilisant une cuve à iode ou à méthane extérieure à la cavité laser semblent très prometteurs comme étalons de longueur d'onde et de fréquence. Nous avons étudié en détail le comportement d'un laser asservi sur l'iode émettant à la longueur d'onde de 612 nm et utilisant une cuve à iode extérieure à la cavité laser. Il a été démontré, comme prévu, que la plupart des effets perturbateurs dus à la pression d'iode et à l'amplitude de modulation étaient beaucoup moins importants avec ce type de laser qu'avec celui utilisant une cuve à iode intérieure à la cavité.

D'autres travaux ont été faits concernant le calcul des structures hyperfines de transitions de vibration-rotation de la molécule d'iode afin d'identifier des transitions favorables utilisables pour l'asservissement de lasers. Parmi les autres activités de la section laser, le comportement de lasers asservis sur le « Lamb dip », sur l'intensité et par effet Zeeman a été étudié. Des comparaisons internationales de lasers ont eu lieu avec l'URSS. De plus, de nouvelles déterminations absolues de la fréquence du méthane sur les lasers de l'URSS et du BIPM ont été effectuées simultanément au LPTF (Paris). Le BIPM a été contacté par de nombreux pays pour des conseils sur la mise en œuvre de la nouvelle définition du mètre. Plus de vingt-cinq laboratoires nationaux ont pu bénéficier des arrangements spéciaux négociés par le BIPM auprès de la compagnie japonaise NEC pour se procurer des tubes lasers spécialement conçus pour des utilisations métrologiques.

Interférométrie. — L'interféromètre de Michelson a été utilisé pour mesurer la longueur d'onde de quelques radiations d'un laser asservi sur l'iode appartenant à l'Italie. Les mesures, faites par comparaison avec un laser de référence du BIPM, ont donné des résultats ayant une incertitude d'environ 3×10^{-10} en valeur relative.

Masses

Étalons de masse. — Des étalons prototypes du kilogramme, en platine iridié, ont été vérifiés pour l'Afrique du Sud, la République Fédérale d'Allemagne, la République Démocratique Allemande, les États-Unis d'Amérique, la République Argentine, le Canada, la Finlande, la France, l'Inde, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède et l'URSS. Des étalons en acier inoxydable ont été étalonnés pour l'Afrique du Sud, la République Fédérale d'Allemagne, les États-Unis d'Amérique, l'Arabie Saoudite, la République Argentine, le Cameroun, la France, l'Irlande, l'Italie, la Suède, la Suisse, la Tchécoslovaquie et la Thaïlande. De nouveaux étalons prototypes du kilogramme en platine iridié continuent d'être fabriqués au BIPM. L'usinage, le polissage et l'ajustage s'effectuent à l'aide d'un outil à pointe de diamant. De tels étalons de 1 kilogramme ont été ou seront prochainement livrés à la République Fédérale d'Allemagne, au Brésil, à la République Populaire de Chine, à la République Populaire Démocratique de Corée et au Portugal; d'autres sont en cours de fabrication. Nous pensons conserver quelques étalons fabriqués suivant ce nouveau procédé afin d'étudier leur stabilité à long terme. À côté de cela, des études ont été effectuées sur la lente variation de masse qui se produit après le nettoyage des étalons en platine iridié.

Balances. — La balance NBS-2 à un seul plateau continue d'être utilisée comme principale balance pour la comparaison des étalons de masse de 1 kg soit en platine iridié, soit en acier inoxydable. Dans de bonnes conditions d'utilisation, on obtient couramment un écart-type inférieur à 1 μg avec cette balance qui est pratiquement toujours en service. La balance Rueprecht de portée 1 kg a été révisée par la société Chyo Balance, au Japon. Elle est maintenant considérée comme balance secondaire et est installée dans une nouvelle salle en sous-sol laissée disponible depuis le transfert de la section laser dans le nouveau bâtiment. Cette balance donne maintenant un écart-type d'environ 5 μg dans la comparaison d'étalons de 1 kg. Une autre balance entièrement automatique, de portée maximale 1 kg, fabriquée par la Société Mettler en Suisse, a été acquise et installée tout récemment dans la même salle. Une nouvelle balance, à suspensions flexibles dans laquelle des lames flexibles en cupro-béryllium remplacent les couteaux, a été étudiée. Le premier prototype a montré, dans les meilleures conditions, une répétabilité de lecture de 0,3 μg pour une charge de 1 kg, c'est-à-dire 3×10^{-10} en valeur relative. Ce premier prototype a été entièrement reconstruit, automatisé et placé dans une enceinte étanche de manière à pouvoir être utilisé aussi bien dans le vide qu'à la pression atmosphérique. Cette seconde version de la balance à suspensions flexibles est soumise actuellement à une série de contrôles. Parallèlement à la fabrication de cette balance à suspensions flexibles, une étude théorique détaillée a été entreprise sur le comportement des balances à couteaux et à suspensions flexibles ainsi que sur les propriétés anélastiques des suspensions en cupro-béryllium. Un clinomètre a été construit suivant un principe original qui lui confère une bonne sensibilité aux très basses fréquences; des essais préliminaires ont été effectués en vue d'isoler un support de balance vis-à-vis des mouvements d'inclinaison du sol en l'asservissant à l'aide de ce nouveau clinomètre.

Gravimétrie. — La deuxième comparaison internationale de gravimètres absolus s'est déroulée au BIPM en 1985. Six gravimètres absolus et quatorze gravimètres relatifs LaCoste-Romberg ont pris part à cette comparaison, qui était organisée sous les auspices de l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI). Les gravimètres absolus venaient des États-Unis d'Amérique (deux instruments), de République Populaire de Chine, d'Italie, d'URSS et du BIPM. Les résultats ont présenté une dispersion beaucoup plus grande que prévu. Depuis lors on a tenté d'expliquer l'origine des différences observées. Entre autres raisons, il est possible que la fréquence

du laser utilisé comme étalon de longueur dans certains gravimètres varie en fonction de la pression ambiante, mais cela n'a pas encore été confirmé. Il est probable qu'une troisième comparaison internationale sera organisée dans les prochaines années. On continue d'étudier les variations à long terme de l'accélération due à la pesanteur. On a en particulier mesuré les très faibles variations de g dues au mouvement de l'axe de rotation de la Terre; les résultats de ces mesures sont en bon accord avec les valeurs calculées.

Manométrie. — Le BIPM a participé à une comparaison internationale de manobaromètres étalons organisée par le Groupe de travail « moyennes pressions » du CCM. Une balance de pression a circulé dans trois laboratoires, y compris le BIPM. Les résultats sont très satisfaisants : l'écart entre la valeur mesurée au BIPM et la moyenne des valeurs des trois laboratoires dépasse rarement 0,3 Pa dans tout le domaine allant de 10 kPa à 100 kPa. L'exactitude du manobaromètre à mercure du BIPM se trouve ainsi à nouveau confirmée. Le principal bénéficiaire de cette grande exactitude des mesures de pression est la section des masses du BIPM pour le calcul de la masse volumique de l'air.

Une seconde série de mesures est commencée; elle concerne plusieurs autres laboratoires.

Temps

Depuis mars 1985, le TAI et l'UTC (Temps universel coordonné) ont été régulièrement établis au BIPM. Le transfert de cette activité de l'Observatoire de Paris au BIPM (discuté en détail précédemment) a été effectué sans aucune interruption du travail. Le nombre d'horloges qui contribuent maintenant au TAI est de l'ordre de 200 et il comprend une douzaine de masers à hydrogène. Certains de ces masers à hydrogène ont une stabilité à long terme qui rivalise avec celle des meilleures horloges à césium. L'accord entre la fréquence du TAI et celle des meilleurs étalons de fréquence est resté extrêmement bon, l'écart n'excédant pas environ 3×10^{-14} sur des moyennes annuelles depuis 1984. Cet excellent accord, cependant, ne doit pas faire perdre de vue le fait que la fréquence du TAI repose principalement sur les étalons de fréquence qui fonctionnent en permanence, ceux du Canada et de la République Fédérale d'Allemagne. La contribution d'autres étalons de grande qualité serait souhaitable afin de rechercher les sources d'erreurs possibles dans la réalisation de la seconde et afin d'apporter aux échelles de temps la stabilité et l'exactitude nécessaires pour certaines applications.

L'apparition des liaisons horaires réalisées par l'intermédiaire des satellites du Global Positioning System (GPS) a grandement amélioré l'exactitude avec laquelle les horloges peuvent être comparées. En 1986, la responsabilité d'organiser les programmes de poursuite des satellites du GPS « en vue commune » a été transférée des États-Unis d'Amérique au BIPM. Il est apparu qu'un des facteurs qui limitent l'exactitude de ces liaisons horaires est la présence d'erreurs dans l'étalonnage du retard des divers récepteurs horaires du GPS. Nous avons entrepris, en collaboration avec le National Bureau of Standards des États-Unis d'Amérique, d'aller mesurer sur place ces retards.

L'exactitude accrue que les liaisons horaires par satellites permettent d'atteindre a rendu nécessaire d'améliorer nos connaissances relatives aux échelles de temps à bien des égards. Des problèmes profonds et difficiles se posent quand on doit définir correctement des échelles de temps dans des référentiels différents. Pour tenter de résoudre certains de ces problèmes, nous avons proposé à l'Union astronomique

internationale, en commun avec l'US Nautical Almanac Office, de définir un nouveau temps idéal sous le nom de temps terrestre (ou TT). Ce serait le temps propre d'une horloge à césium idéale située au centre de gravité de la Terre. Le TAI est déjà une bonne approximation du TT mais, en faisant des corrections rétrospectives, de meilleures réalisations peuvent être établies. Ainsi, nous avons produit une échelle de temps améliorée, désignée par TT (BIPM) qui peut être employée pour les utilisations les plus exigeantes, telle que l'étude de certains pulsars. Le TT (BIPM) est une échelle scientifique révisable, tandis que le TAI est définitif dès qu'il a été diffusé.

Des efforts sont faits pour que les utilisateurs du TAI et de l'UTC aient plus facilement accès aux nombreuses données existantes; nous avons récemment ouvert un nouveau service de données accessible par ordinateur en utilisant le réseau téléphonique.

Électricité

Résistance. — La quatorzième comparaison internationale des représentations nationales de l'ohm a eu lieu au BIPM en 1983 et 1984. Treize pays y ont participé: l'Afrique du Sud, la République Fédérale d'Allemagne, la République Démocratique Allemande, l'Australie, le Canada, la République Populaire de Chine, les États-Unis d'Amérique, la France, l'Italie, le Japon, les Pays-Bas, le Royaume-Uni et l'URSS. À l'occasion de cette comparaison, un nouveau rattachement de Ω_{69-BI} à la représentation australienne de l'ohm, établie à l'aide d'un condensateur calculable, a été réalisé. Le BIPM dispose maintenant des résultats de plus de vingt ans de comparaisons régulières avec la représentation australienne de l'ohm. Il est à présent équipé des moyens permettant l'établissement d'une représentation de l'ohm utilisant l'effet Hall quantique. Pour ses premières mesures de la résistance quantifiée, R_H , en 1986, le BIPM a utilisé un échantillon en silicium. Depuis, les mesures ont été faites principalement sur des échantillons en arséniure de gallium. Nous sommes très reconnaissants envers l'Electrotechnical Laboratory du Japon pour son assistance lors de l'installation et de la mise au point de nos équipements relatifs à l'effet Hall quantique et envers d'autres laboratoires au Japon, en France et en Suisse pour leurs dons d'échantillons en silicium ou en arséniure de gallium. Nous pouvons maintenant rattacher la résistance d'étalons de référence de 1Ω à la résistance de Hall quantifiée (environ 10 000 ohms) avec une incertitude relative qui ne dépasse pas 2×10^{-8} . Un comparateur cryogénique de courants a été construit en collaboration avec le Laboratoire central des industries électriques, en France. Avec le comparateur cryogénique de courants, l'incertitude sur la détermination de rapports est vraiment très faible: environ 2×10^{-9} seulement en valeur relative. En vue de la prochaine comparaison de résistances que le Comité Consultatif d'Électricité (CCE) a décidé d'organiser afin de comparer les réalisations nationales de la résistance de Hall quantifiée et de l'ohm, de nombreuses améliorations, en plus de l'utilisation d'un pont à comparateur cryogénique de courants, ont été réalisées sur la chaîne de mesure des résistances. Un groupe d'étalons de 100Ω stables et régulés en température a été constitué pour faciliter le rattachement entre les étalons de 1 ohm et la résistance de Hall quantifiée. Des moyens améliorés de mesure de température et de pression, essentiels pour la réduction des incertitudes, sont maintenant utilisés. Enfin, au niveau de $10 \text{ k}\Omega$, un nouveau groupe secondaire de référence et un comparateur de résistances de type potentiométrique ont été mis au point avec succès.

Force électromotrice. — La représentation du volt du BIPM, V_{76-BI} , est conservée à l'aide de l'effet Josephson. Le groupe de piles étalons qui sert de référence entre les mesures d'effet Josephson est en service depuis plus de dix ans et présente une dérive linéaire d'environ $0,1 \mu\text{V}$ par an. Un dispositif entièrement automatique

permettant la comparaison d'étalons voyageurs avec nos piles de référence fonctionne depuis 1984. Tous les étalonnages et les comparaisons internationales sont faits maintenant avec ce dispositif donnant des résultats dont l'incertitude est inférieure à 10 nV. Ces toutes dernières années ont vu l'apparition d'une nouvelle génération d'étalons de tension à diode de Zener. La tension qu'ils fournissent, bien que n'ayant pas des niveaux de bruit ni des dérives aussi faibles que ceux de piles Weston de bonne qualité conservées à poste fixe, paraît varier moins que celle des piles lors des transports. De ce fait leur utilisation comme étalons voyageurs est intéressante. Les résultats des transferts effectués à l'aide d'étalons voyageurs de ce type entre le BIPM et l'Afrique du Sud, la République Fédérale d'Allemagne, l'Australie, la Belgique, la France, le Royaume-Uni et la Yougoslavie ont été bons en général.

Capacité. — La troisième comparaison internationale d'étalons de capacité de 10 pF s'est terminée en 1985. Les résultats ont été décevants car les variations des étalons voyageurs au cours de la comparaison ont été bien plus grandes que prévu. Néanmoins, les résultats ont montré qu'il existe encore des différences dépassant 1×10^{-7} en valeur relative entre les représentations du farad.

Étalonnages. — Depuis octobre 1983, des étalons électriques de l'ohm ou du volt ont été étalonnés pour vingt-deux pays : l'Afrique du Sud, la République Fédérale d'Allemagne, la République Démocratique Allemande, l'Australie, la Belgique, la Bulgarie, la République Populaire Démocratique de Corée, la Finlande, la France, la Hongrie, l'Irak, l'Irlande, Israël, la Norvège, la Pologne, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse, la Tchécoslovaquie, l'URSS et la Yougoslavie.

Radiométrie et photométrie

Lors de l'adoption de la nouvelle définition de la candela par la 16^e Conférence Générale en 1979, il avait été décidé d'organiser une comparaison internationale d'étalons photométriques aussitôt que la nouvelle définition serait mise en application par les laboratoires nationaux. Cette comparaison, la sixième de ce type depuis 1939, a eu lieu au BIPM en 1985, avec la participation de quinze pays (Afrique du Sud, République Fédérale d'Allemagne, République Démocratique Allemande, États-Unis d'Amérique, République Argentine, Australie, Canada, République Populaire de Chine, Espagne, France, Italie, Japon, Suisse, Royaume-Uni et URSS). Le président du CCPR en rendra compte.

Au vu des résultats de cette comparaison, le CCPR, réuni en 1986, a décidé de modifier les valeurs attribuées, respectivement depuis 1961 et depuis 1952, aux étalons conservés par le BIPM pour représenter la candela et le lumen.

Certains résultats présentent, toutefois, des divergences que le BIPM, avec l'assistance des laboratoires nationaux de la France et du Royaume-Uni, doit essayer d'expliquer en poursuivant des mesures sur quelques-unes des lampes concernées.

La décision du CIPM d'augmenter la proportion des ressources du BIPM consacrées à la radiométrie et à la photométrie est entrée en application. Un laboratoire, utilisé jusqu'à maintenant pour la détermination thermométrique qui vient de s'achever (voir ci-après), a été transformé en laboratoire pour la radiométrie. Le personnel qui était précédemment affecté à cette détermination et aux autres travaux de thermométrie porte maintenant son attention sur la radiométrie et la photométrie. On estime que le BIPM sera équipé et prêt pour effectuer les nouvelles comparaisons internationales que le CCPR, en 1986, a décidé d'entreprendre dans le domaine de la spectroradiométrie et de la radiométrie absolue.

En plus des étalons qui ont participé à la sixième comparaison internationale, des lampes photométriques ont été étalonnées pour la Pologne, la Suède, la Tchécoslovaquie et la Yougoslavie.

Thermométrie

L'activité principale en thermométrie depuis la Dix-septième Conférence Générale a été de poursuivre et de mener à bien les mesures radiométriques portant sur la température thermodynamique dans le domaine allant de 420 °C à 630 °C. Les valeurs obtenues pour $T - T_{68}$ sont en assez bon accord avec celles de deux autres laboratoires ; elles font maintenant partie de l'ensemble des résultats disponibles pour l'établissement de la nouvelle échelle internationale de température qui est en cours de préparation sous l'égide du CCT. Ces mesures ont entraîné l'étude du comportement des thermomètres à résistance de platine longuement soumis à des températures voisines de 500 °C.

Pour cette détermination, comme pour toutes celles que fait le BIPM avec des thermomètres à résistance de platine, les mesures au point triple de l'eau sont faites avec deux cellules à point triple d'origines différentes choisies dans un groupe qui comprend maintenant des cellules fabriquées en République Fédérale d'Allemagne, en République Démocratique Allemande, aux États-Unis d'Amérique, en Italie, au Japon et au Royaume-Uni.

Le comportement de thermomètres à résistance de platine pour la mesure des hautes températures provenant de la Rép. Pop. de Chine et du Japon a fait l'objet d'une étude partielle.

Des thermomètres à résistance de platine ou des thermocouples platine/platine rhodié ont été étalonnés pour l'Afrique du Sud, la Belgique, la République Populaire Démocratique de Corée, le Danemark, la Hongrie, le Portugal, la Suède, la Suisse, l'URSS et la Yougoslavie.

Conformément à la décision du CIPM, en 1985, la plus grande partie des moyens qui étaient consacrés à la thermométrie au BIPM sont maintenant reportés sur la radiométrie et la photométrie. L'activité maintenue en thermométrie est réduite à la satisfaction des besoins des autres sections du BIPM dans le domaine de la température ambiante.

Rayonnements ionisants

Dosimétrie (Rayons X et γ , neutrons). — Des comparaisons directes ou indirectes ont été faites entre les étalons d'exposition et de dose absorbée du BIPM et ceux des pays suivants : Italie, Hongrie, Brésil, France, Pays-Bas et Royaume-Uni. Dans le domaine des rayons X d'énergies faibles et moyennes, des chambres d'ionisation ont été étalonnées pour le Brésil, l'Espagne, la France, la Finlande, le Danemark, la Norvège, la Suède, la Yougoslavie et pour l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Les étalonnages effectués pour l'AIEA permettent d'établir des liens avec son réseau de Laboratoires de dosimétrie dotés d'étalons secondaires (SSDL). On a calculé de nouvelles valeurs du rapport existant entre le kerma dans l'air et l'exposition pour les rayonnements de référence du BIPM. Dans le domaine du rayonnement γ le BIPM a étalonné des chambres d'ionisation pour le Brésil, la République Populaire de Chine, la France, la Yougoslavie et l'AIEA. On a mesuré, pour des chambres d'ionisation étalonnées en exposition, les facteurs de conversion permettant de les utiliser comme instruments de mesure pour la dose absorbée dans l'eau. L'étude

théorique de la perturbation introduite par la présence d'une chambre d'ionisation dans un fantôme d'eau a été effectuée. Conformément à une recommandation de la Section I du CCEMRI, le BIPM a entrepris la détermination des facteurs nécessaires pour relier à l'exposition et au kerma, pour les différentes qualités de rayonnement utilisées, les nouvelles grandeurs définies par l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) dans le domaine de la protection, notamment l'équivalent de dose ambiant et l'équivalent de dose directionnel. Ce travail a commencé par l'étude des problèmes qui se posent pour le rayonnement γ du ^{60}Co ; les résultats expérimentaux disponibles sont en bon accord avec les calculs théoriques.

Les valeurs de certaines constantes physiques utilisées en dosimétrie ont été améliorées (pouvoir de ralentissement, énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions, rayonnement de freinage). Cette série de nouvelles valeurs a été adoptée par le CCEMRI qui en a recommandé l'emploi à partir du 1^{er} janvier 1986.

Dans le domaine des mesures neutroniques le BIPM a pris part à deux comparaisons internationales de dosimétrie neutronique organisées l'une par le National Physical Laboratory, Royaume-Uni, l'autre par la Commission des Communautés Européennes, et à une comparaison internationale de mesures de débit de fluence utilisant comme instrument de transfert des chambres à fission. Le kerma dans le tissu humain délivré par la source de neutrons du BIPM a été mesuré dans l'air par deux méthodes : la méthode de la chambre d'ionisation et la méthode de la fluence. Les résultats obtenus sont en bon accord. Une étude des chambres d'ionisation à parois équivalentes au tissu humain a été effectuée dans le but de les utiliser comme instruments de transfert ou de référence pour la comparaison internationale de mesures de kerma organisée par le BIPM, comparaison qui se déroule actuellement. Le BIPM participe à une comparaison de mesures de débit de fluence de neutrons avec le Royaume-Uni et la République Fédérale d'Allemagne, comparaison qui utilise deux sphères de Bonner comme instruments de transfert. Le but de cette comparaison est de mettre à l'épreuve ce type de détecteur comme instrument de transfert.

Conformément à la décision prise par le CIPM en 1985 de porter les efforts en dosimétrie sur les travaux effectués dans le domaine des rayons X et γ et des électrons, le groupe de mesures neutroniques a fusionné avec le groupe de dosimétrie. Un transfert a eu lieu dans ce sens en ce qui concerne le personnel et les ressources ; cependant, une certaine compétence sera maintenue dans le domaine des mesures neutroniques.

Radionucléides. — Rappelons que les travaux relatifs à la recherche de la précision et de l'uniformité mondiale des mesures d'activité se poursuivent au BIPM dans deux directions complémentaires. La première est l'organisation de comparaisons internationales des mesures d'activité de radionucléides sélectionnés et la seconde concerne le Système international de référence (SIR).

Depuis la dernière Conférence Générale, des comparaisons de l'activité de sources de ^{133}Ba et de ^{109}Cd ont eu lieu. Dix-neuf laboratoires ont pris part à la première comparaison et dix-huit à la seconde. Toutes deux avaient été précédées de comparaisons préliminaires restreintes, destinées à déceler d'éventuels problèmes susceptibles d'apparaître pour ces deux nucléides qui ne sont pas faciles à mesurer. Une telle comparaison préliminaire est en cours avec le ^{125}I entre sept participants.

Le Système international de référence pour la mesure de l'activité d'émetteurs de rayons γ comprend une chambre d'ionisation et des sources de référence stables. Le BIPM dispose actuellement des résultats de mesures de plus de 400 sources couvrant

une cinquantaine de radionucléides en provenance d'une vingtaine de laboratoires. Le SIR fonctionne depuis douze ans. Son maintien nécessite un contrôle constant de sa stabilité et des améliorations régulières de l'équipement électronique.

La mesure exacte de l'activité d'un radionucléide exige une bonne compréhension des processus de désintégration et de leur influence sur les particules émises observables. Pour cette raison, une étude approfondie de tout le domaine des statistiques de comptage constitue depuis de nombreuses années une part importante du travail du groupe des radionucléides du BIPM. Elle a conduit à la mise au point de diverses techniques expérimentales et, en particulier, à l'invention de la méthode d'échantillonnage sélectif ainsi qu'à son extension récente permettant l'emploi d'équipements électroniques plus simples. De nombreuses études détaillées ont permis de confirmer l'exactitude et l'utilité de la méthode. La récente introduction de temps morts généralisés semble ouvrir la voie à d'intéressantes applications nouvelles. Des travaux théoriques et expérimentaux sont en cours au BIPM pour en faire la démonstration.

Pendant plus de vingt ans, des mesures absolues d'énergie de particules α ont constitué une partie importante des travaux du groupe des radionucléides. Les dernières mesures, qui concernaient des sources de ^{252}Cf et de ^{227}Ac , ont mis un terme à cette activité.

Publications

Depuis octobre 1983, le BIPM a publié :

- 17^e Conférence Générale des Poids et Mesures (1983), Comptes Rendus*, 114 pages.
- Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tomes 51 (72^e session, octobre 1983), 140 pages, 52 (73^e session, octobre 1984), 175 pages, 53 (74^e session, octobre 1985), 236 pages, 54 (75^e session, octobre 1986), 132 pages.
- Comité Consultatif d'Électricité*, 16^e session (1983), 165 pages, 17^e session, septembre 1986, 189 pages.
- Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie*, 10^e session (1982), 112 pages, 11^e session (1986), 193 pages.
- Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants*, 10^e session (1983), 48 pages, 11^e session (1985), 228 pages comprenant les trois sections.
 - Section I (Rayons X et γ , électrons), 7^e réunion (1983), 52 pages.
 - Section II (Mesure des Radionucléides), 7^e réunion (1983), 44 pages.
 - Section III (Mesures neutroniques), 6^e réunion (1983), 52 pages.
- Comité Consultatif des Unités*, 9^e session (1984), 44 pages.
- Comité Consultatif de Thermométrie*, 15^e session (1984), 161 pages.
- Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, 10^e session (1985), 72 pages.
- Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées*, 2^e session (1985), 75 pages.
- Rapport annuel du Bureau International de l'Heure pour 1985* (60 pages environ pour la contribution du BIPM sur les échelles de temps).
- Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures*, volume 8 (1981-1982), 51 articles, volume 9 (1983-84), 41 articles.
- Le Système International d'Unités (SI)*, 5^e édition (1985), 110 pages.

À ces publications s'ajoutent 45 rapports BIPM ou Monographies qui peuvent être obtenus auprès du BIPM. Les articles publiés dans la revue *Metrologia* ont conservé leur excellent niveau scientifique depuis le transfert de la responsabilité éditoriale de cette revue au BIPM en 1981. Le directeur du BIPM publie chaque année dans

Metrologia, habituellement dans le premier ou le second numéro de chaque volume, un bref rapport sur les activités du Comité International des Poids et Mesures, de ses comités consultatifs et du Bureau International des Poids et Mesures, sous le titre « News from the BIPM », et nous encourageons vivement les journaux métrologiques nationaux à reproduire des extraits ou l'intégralité de ce rapport.

Enfin, en plus de ces publications régulières, le Comité International a décidé en 1986 de préparer une brochure actualisée sur le BIPM et la Convention du Mètre. Cette brochure, qui vient juste d'être publiée, a pour objectif d'informer les personnes directement ou indirectement concernées par la métrologie, de plus en plus nombreuses, tant au niveau national qu'international, sur le rôle et le travail scientifique accompli au BIPM pour le compte des quarante-sept États membres de la Convention du Mètre. Il est important que ce travail soit porté à la connaissance de tous, aussi j'encourage les délégations à la Conférence Générale à emporter autant d'exemplaires de cette brochure qu'elles le désirent afin de les distribuer aussi généreusement qu'il leur semble bon.

Ceci termine le rapport qu'il m'incombe de vous faire en tant que président du CIPM. Je remercie tous les membres du BIPM qui m'ont aidé à le préparer.»

Le PRÉSIDENT remercie Mr KIND et se dit impressionné par l'ensemble des activités du BIPM. Avant de lever cette première séance, il suggère qu'il soit procédé à la constitution du « Groupe de travail pour la dotation du BIPM pour les quatre années 1989-1992 » en vue de la préparation du point 16 de l'ordre du jour concernant la dotation annuelle du BIPM. Mr AUBOUIN propose que la présidence de ce groupe *ad hoc* soit assurée par Mr PRESTON-THOMAS, vice-président du CIPM. Cette proposition est mise au vote à main levée. Aucun vote contraire ni abstention n'étant exprimé, Mr Preston-Thomas est chargé de cette mission. Le PRÉSIDENT donne ensuite la parole à Mr de Boer, secrétaire de la Conférence pour la constitution dudit groupe.

Mr DE BOER précise que la composition de ce groupe tient toujours compte de l'importance des contributions des États qui y participent et d'un certain équilibre géographique. S'appuyant sur la composition du groupe analogue formé lors de la 17^e Conférence Générale et suggérant deux changements, il propose la liste suivante : Allemagne (Rép. Féd. d'), Amérique (États-Unis d'), Brésil, Bulgarie, Chine (Rép. Pop. de), Danemark, Espagne, France, Japon, Roumanie, Royaume-Uni, URSS.

Cette proposition ne faisant l'objet d'aucune remarque ni d'aucune objection, elle est adoptée à l'unanimité.

La séance est levée à 12 h 15.

DEUXIÈME SÉANCE
DE LA 18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES

tenue au Centre de Conférences internationales
du Ministère des Affaires étrangères
19, avenue Kléber, Paris
le lundi 12 octobre 1987, à 15 heures

L'ordre du jour appelle la présentation des rapports des présidents des différents Comités Consultatifs, comités créés par le CIPM pour le renseigner sur les questions qu'il soumet à leur avis. Le texte de ces rapports a été remis aux participants. Ces rapports feront l'objet de discussions. Il est convenu que les projets de résolution présentés par le CIPM et qui font suite à ces rapports seront soumis au vote de la Conférence à la quatrième séance, le jeudi 15 octobre.

7. Définition du mètre

Mr AUBOUIN donne la parole à Mr KIND, président du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), qui présente le rapport suivant :

Lors de la dernière Conférence Générale j'ai eu la charge, en qualité de président du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (CCDM), de présenter la proposition du Comité International des Poids et Mesures (CIPM) de changer la définition du mètre. Cette proposition était le résultat d'un important travail préparatoire, tout d'abord des laboratoires nationaux, puis du CCDM et du Comité Consultatif des Unités (CCU) et du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). Son adoption par la Dix-septième Conférence Générale a représenté un grand pas en avant pour la métrologie. Comme on l'avait envisagé à cette époque, le changement de la définition du mètre, qui impliquait une valeur fixe pour la vitesse de la lumière, a, entre autres choses, ouvert la voie à des mesures nouvelles et plus précises de longueur d'onde et de fréquence de lasers. Un certain nombre de nouvelles déterminations de la fréquence de lasers à He-Ne asservis sur une transition de la molécule de méthane, à une longueur d'onde de 3,39 μm , ont déjà été faites. Ces déterminations ont donné des valeurs dont la moyenne est d'environ 8×10^{-11} inférieure à la valeur donnée en 1983 par le CIPM dans la « mise en pratique » de

la nouvelle définition du mètre. Cette différence représente environ le double de l'écart-type donné en 1983. Des études détaillées des facteurs qui affectent la reproductibilité de lasers comme étalons de longueur d'onde et de fréquence se poursuivent dans les laboratoires nationaux et au BIPM. Ces études concernent non seulement les transitions moléculaires dont les longueurs d'onde et les fréquences sont comprises dans la « mise en pratique » de 1983 mais aussi d'autres qui se sont révélées depuis lors avoir des propriétés métrologiques intéressantes.

Parmi celles-ci figurent les transitions de l'iode, utilisées pour asservir un laser à He-Ne, à des longueurs d'onde de 640 nm et de 544 nm, et la transition du tétraoxyde d'osmium, utilisée pour asservir un laser à CO₂, à une longueur d'onde de 10,6 µm. De nombreux laboratoires travaillent sur des recherches nouvelles sur la spectroscopie de l'ion isolé et confiné et sur le refroidissement de jets atomiques et moléculaires à l'aide de lasers. Il semble très probable que les implications de ce type de travail pour la métrologie seront de très grande portée. C'est une des tâches importantes du CCDM de suivre de près les progrès dans ces domaines, de stimuler leurs applications en métrologie et de continuer à encourager les mesures de fréquence dans le visible.

Parallèlement à ces développements nouveaux et passionnants dans le domaine des mesures de longueur d'onde et de fréquence, une vaste et importante comparaison internationale d'étalons à traits a été achevée. En 1973 le CCDM avait décidé de commencer la comparaison. Il avait demandé au BIPM de se procurer les étalons voyageurs nécessaires et d'effectuer le travail préliminaire. La comparaison internationale a été organisée par le BIPM et commencée en 1976. Onze laboratoires nationaux y ont participé. La comparaison portait à l'origine sur deux règles, une règle de 1 mètre et une règle de 500 mm. Il se révéla à l'usage que la règle de 500 mm ne donnait pas entière satisfaction et finalement seuls les résultats obtenus avec la règle de 1 mètre ont été pris en compte. La comparaison s'est terminée en 1984 et les résultats ont maintenant été complètement évalués. Bien que l'incertitude estimée par chaque laboratoire participant soit en général de quelques dizaines de nanomètres, l'ensemble des résultats a révélé un écart-type entre laboratoires voisin de 100 nanomètres sur la longueur de la règle de 1 mètre, soit 1×10^{-7} en valeur relative. Les résultats de cette comparaison internationale, la plus détaillée et la plus soigneusement évaluée de son genre depuis de nombreuses années, seront étudiés lors de la prochaine session du CCDM.

Des comparaisons internationales de lasers continuent à avoir lieu, principalement au BIPM, et de plus le BIPM est en train d'organiser une comparaison internationale de cellules à iode.

L'adoption de la nouvelle définition du mètre par la Dix-septième Conférence Générale a été l'occasion, bien sûr, de faire une pause dans les activités directes du CCDM et aucune session n'a eu lieu depuis 1983. Il est clair maintenant que les travaux récents rendront bientôt souhaitable que le CCDM se réunisse et il est actuellement prévu qu'une réunion de ce comité consultatif ait lieu en 1989.

La fin de ce rapport est saluée par des applaudissements. Mr AUBOUIN soumet le rapport à discussion.

Au nom de la délégation japonaise Mr IIZUKA souhaite apporter un complément à ce rapport. Afin de faire le point sur l'état de compatibilité des étalons d'angle, une comparaison internationale circulaire de deux miroirs

polygonaux, pour laquelle le NRLM (Japon) joue le rôle de laboratoire pilote, a commencé en décembre 1980, sous les auspices du CCDM. Cette comparaison s'est achevée en 1987 après que quatorze séries de mesures ont été effectuées dans onze laboratoires. Le rapport provisoire donnant les résultats sera diffusé d'ici à la fin de l'année. Des anomalies ont été trouvées entre les résultats de différents laboratoires et certains d'entre eux sont amenés à recommencer leurs mesures. Mr IZUKA prie le président du CCDM de l'excuser de ne pas avoir communiqué l'état d'avancement de cette comparaison avant la 18^e CGPM.

Mr KIND répond qu'en effet ce qui vient d'être dit est important et mérite d'être signalé.

Aucun autre commentaire n'étant fait, le PRÉSIDENT aborde le point suivant de l'ordre du jour.

8. Masse et grandeurs apparentées ; kilogramme

La parole est donnée à Mr BRAY, président du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées pour la présentation de son rapport.

Après la 17^e Conférence Générale des Poids et Mesures en 1983, le Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées a tenu une réunion en 1985, la deuxième depuis sa fondation, la première ayant eu lieu en 1981.

Les groupes de travail aujourd'hui en activité au sein du CCM sont au nombre de neuf ; leur travail porte sur les sujets suivants : mesure directe de la masse volumique de l'air, conservation des étalons de masse, étalons de masse en acier inoxydable, masse volumique de liquides et de solides, force, hautes pressions, moyennes pressions, basses pressions, très basses pressions.

Dans la suite sont présentés sous une forme abrégée les résultats les plus importants obtenus par chaque groupe de travail. On signalera aussi les résultats obtenus dans d'autres secteurs, concernant la construction de prototypes de balance et l'analyse des surfaces. En outre, il est important de signaler la décision, prise à la suite des différentes résolutions de plusieurs Conférences Générales, de préparer une nouvelle comparaison générale des étalons prototypes nationaux du kilogramme, pour laquelle le projet de résolution A (voir page 16) est présenté à l'approbation de cette 18^e CGPM.

Mesure directe de la masse volumique de l'air

À la suite d'une enquête du groupe de travail, les valeurs obtenues par mesure directe de la masse volumique de l'air ont été comparées avec celles calculées au moyen de la formule unique adoptée à la suite de la Résolution 3 de la 17^e CGPM. Les différences entre les deux méthodes, d'après les résultats des différents laboratoires, sont inférieures à un dix-millième. L'incertitude des valeurs obtenues par mesure directe par six laboratoires varie entre 1×10^{-3} et 2 à 3×10^{-5} .

Dans le but de réduire ces différences et d'améliorer la détermination de la correction due à la poussée de l'air dans les comparaisons de masse, les laboratoires participant à l'enquête estiment nécessaire de continuer les études sur la mesure de la masse volumique de l'air.

Conservation des étalons de masse

La méthode de nettoyage des étalons prototypes du kilogramme en platine iridié utilisée au BIPM semble être la plus efficace ; une nouvelle étude a montré qu'elle doit être répétée deux fois pour s'assurer de la parfaite propreté de la surface. Un étalon prototype a été soumis à une étude prolongée pour connaître la variation de sa masse après un tel nettoyage. Une légère variation de masse (de l'ordre de sept fois l'écart-type) a été observée sur une durée d'une année ; une étude à plus long terme serait nécessaire pour confirmer ce résultat.

La nouvelle technique mise au point au BIPM pour usiner et ajuster un étalon prototype en platine iridié a été utilisée avec succès pour fabriquer plusieurs nouveaux prototypes.

Étalons de masse en acier inoxydable

On a fait une enquête dans le but d'établir quels sont les types d'aciers inoxydables et d'alliages spéciaux qu'il convient d'employer pour fabriquer des étalons de masse.

Les caractéristiques les plus importantes paraissent être la stabilité dans le temps de la valeur de la masse, la résistance aux agents agressifs et une susceptibilité magnétique minimale. Il n'est pas essentiel d'avoir un matériau dont la masse volumique soit aussi proche que possible de $8\,000\text{ kg/m}^3$.

Les résultats de l'enquête ont montré que tous les matériaux étudiés font preuve d'une bonne stabilité, mais les résultats obtenus avec tous les matériaux sont peut-être entachés d'une assez grande incertitude en raison de la diversité des méthodes appliquées par les différents laboratoires. En conséquence, il paraît indispensable de faire encore des essais systématiques et comparatifs sur les matériaux proposés avec une incertitude aussi faible que possible.

Masse volumique de liquides et de solides

Dans le domaine des liquides, la masse volumique de l'eau a été étudiée. Il reste une incertitude de quelques millièmes sur sa valeur, même à la température ambiante, à cause surtout des effets de dilatation thermique et des gaz atmosphériques dissous. Des études sur ces effets restent nécessaires.

Une nouvelle détermination de la masse volumique du mercure a été considérée.

Dans le domaine des solides, à la suite d'une enquête du groupe de travail faite en 1982 et à laquelle vingt-huit laboratoires ont répondu, l'accord s'est fait sur une comparaison internationale de mesures de masse volumique et le NBS a accepté de jouer le rôle de laboratoire pilote. Cette comparaison a commencé en octobre 1985.

Chaque laboratoire participant fait des mesures sur un cylindre en monocristal de silicium d'une masse de 800 g environ et un cylindre en acier inoxydable d'environ 1 kg. Deux jeux de ces objets ont été préparés et circulent entre les laboratoires. Les résultats de cette comparaison seront disponibles avant la fin de l'année 1987.

Les résultats préliminaires de comparaisons bilatérales conduites sur des étalons solides sont en accord à environ $\pm 1 \times 10^{-6}$ près.

Force

Depuis que le CCM a décidé de s'occuper du domaine des mesures de force, concernant les laboratoires métrologiques nationaux où sont installées les machines

étalons primaires de force, plusieurs comparaisons internationales ont été entreprises, soit entre deux laboratoires soit entre plusieurs laboratoires ; certaines ont été organisées par le Bureau communautaire des références (BCR) de la Communauté économique européenne (CEE).

L'action du CCM vise à établir un réseau reliant les laboratoires nationaux de métrologie, l'objectif final étant d'harmoniser les caractéristiques des machines étalons primaires de force que l'on utilise pour étalonner les capteurs de force et de masse. Pour l'instant, et grâce à ces comparaisons internationales, le réseau en question relie des laboratoires primaires d'Europe, des États-Unis d'Amérique, du Japon et de la Chine.

À part les comparaisons internationales, les activités dans ce domaine concernent d'une part le développement de nouveaux étalons primaires de portée toujours plus grande, et de l'autre des études expérimentales entreprises dans le but d'améliorer la précision des machines étalons, qui aujourd'hui est d'environ vingt ou trente millièmes, c'est-à-dire inférieure à la précision que l'on peut obtenir dans la mesure des masses et de l'accélération due à la pesanteur.

Hautes pressions

On a effectué une comparaison internationale de mesures de pression de 20 à 100 MPa dans un milieu liquide, comparaison organisée en trois phases à laquelle ont participé treize laboratoires. Une quatrième phase, avec la participation de quatre laboratoires, est déjà commencée et sa conclusion est prévue en 1987.

Les résultats obtenus jusqu'ici montrent qu'aux pressions inférieures la dispersion relative atteint 200×10^{-6} (55×10^{-6} pour neuf laboratoires) ; à 100 MPa elle atteint 400×10^{-6} (78×10^{-6} pour huit laboratoires).

En conséquence de ces résultats, plusieurs laboratoires métrologiques nationaux ont entrepris des études et des recherches pour approfondir les problèmes de la mesure de la pression au moyen des systèmes à piston et cylindre dans les milieux liquides.

Le groupe de travail se propose d'organiser une comparaison internationale jusqu'à 700 MPa dans un milieu liquide. Cette comparaison est précédée par des études, à présent en cours dans plusieurs laboratoires métrologiques nationaux, concernant le choix du fluide et du meilleur étalon voyageur.

À l'occasion de la prochaine réunion du groupe de travail en 1988, une journée d'étude sera organisée pour examiner les problèmes principaux et l'état actuel de la métrologie des hautes pressions.

Moyennes pressions

Une comparaison internationale, organisée par le groupe de travail, est en cours, avec la participation de douze laboratoires comprenant le BIPM ; le domaine de pression considéré est compris entre 10 kPa et 110 kPa, c'est-à-dire la pression atmosphérique. Une balance de pression à gaz (manomètre à piston) est l'étalon voyageur ; sa reproductibilité est meilleure que $\pm 0,5$ Pa.

Le groupe de travail étudie la possibilité d'entreprendre une comparaison internationale d'étalons pour la mesure des pressions relatives, c'est-à-dire des différences de pression par rapport à la pression atmosphérique, dans le domaine de 0,1 à 1,0 MPa, ou, si possible, jusqu'à 5 MPa.

Basses pressions

En vue de la comparaison internationale des mesures dans le domaine compris entre 0,1 Pa et 1 kPa, des études sont en cours pour le choix du capteur et de la méthode de mesure.

Actuellement, le capteur le plus approprié semble être une jauge à diaphragme à variation de capacité.

Très basses pressions

Le groupe de travail a organisé une comparaison entre neuf laboratoires métrologiques nationaux dans le domaine de pression compris entre 5×10^{-4} Pa et 1 Pa ; les jauges employées comme étalons voyageurs sont des jauges à rotor libre (spinning rotors). Les résultats, concernant aussi bien les étalons pour la mesure du vide dans sept des laboratoires que la stabilité à long terme (sept ans) des étalons voyageurs, sont maintenant disponibles.

La plupart des résultats concordent à ± 1 % près, et les écarts par rapport à la moyenne n'excèdent pas ± 3 %, ce qui est très raisonnable. Les étalons voyageurs se sont révélés suffisamment stables, avec une reproductibilité de $\pm 0,5$ % pendant plusieurs années, à condition d'être maniés avec soin. Cependant, au cours d'un transport, la méthode utilisée a provoqué un changement de plusieurs centièmes ; cette méthode devra donc être évitée.

Prototypes de balance

Outre les comparaisons internationales organisées par les groupes de travail et les études et recherches dans les différents domaines, il faut signaler une vaste activité développée pendant les dernières années concernant l'amélioration des performances des balances de haute précision et la construction de nouveaux prototypes de balance. Parmi ces derniers on signale particulièrement :

— La balance à suspensions flexibles du BIPM, à bras égaux, destinée à la comparaison d'étalons de masse de 1 kg avec la meilleure exactitude possible en appliquant la méthode de substitution. Jusqu'ici le mieux que l'on ait obtenu est un écart-type équivalent à 0,28 microgramme pour une série de quinze chargements successifs d'une masse de 1 kg.

— Un comparateur d'étalons de masse mis au point à la PTB (Rép. Féd. d'Allemagne), qui utilise la poussée hydrostatique agissant sur un flotteur pour compenser la force due à la pesanteur exercée sur un étalon de masse de 1 kg supporté par le flotteur. L'écart-type pour la comparaison d'étalons de 1 kg ayant presque la même masse volumique est, jusqu'ici, d'environ 3 microgrammes. Des modifications visant à améliorer l'exactitude sont en cours.

— Un comparateur d'étalons de masse installé à l'INM (France), essentiellement constitué d'une balance asservie et à un seul plateau. La pesée est effectuée par substitution avec la méthode « à charge constante ». Le fonctionnement est entièrement automatique, avec acquisition et traitement des données en temps réel. Le comparateur peut comparer des masses de sous-multiples du kilogramme.

— Une balance à bras égaux, à couteaux, complètement automatisée et de type classique, construite au NRLM (Japon). Un écart-type équivalent à 0,3 microgramme a été obtenu dans la comparaison de masses d'un kilogramme.

Analyse de surface des matériaux utilisés pour la construction des étalons de masse

Les recherches poursuivies à l'IMGC (Italie) à l'aide de méthodes modernes d'étude de la surface des solides ont donné des résultats très prometteurs. Ces méthodes fournissent des moyens puissants pour l'étude des phénomènes qui ont leur siège au voisinage immédiat de la surface ; leur application a permis de mettre en évidence le lien existant entre l'instabilité des étalons de masse et les phénomènes de surface. En conséquence, le CIPM propose à la Conférence Générale le projet de résolution B (voir page 17) recommandant aux laboratoires nationaux d'employer pour l'étude des étalons de masse les techniques d'analyse des surfaces aujourd'hui disponibles.

Vérification de prototypes

Il était de tradition jusqu'en 1954 de présenter à la Conférence Générale des Poids et Mesures la valeur de la masse des étalons prototypes du kilogramme, en platine iridié, récemment vérifiés au BIPM. À la suite de la proposition du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées, le Comité International des Poids et Mesures a décidé de reprendre cette tradition. On indiquera ici seulement la valeur des nouveaux prototypes fabriqués depuis la 2^e vérification périodique des prototypes nationaux dont les résultats ont été présentés à la 10^e CGPM (1954).

N° 56	Afrique du Sud	1 kg + 0,195 mg (1955) 1 kg + 0,235 mg (1982) 1 kg + 0,237 mg (1986)
N° 57	Inde	1 kg - 0,054 mg (1955) 1 kg - 0,022 mg (1985)
N° 58	Égypte	1 kg - 0,132 mg (1964)
N° 60	} Rép. Pop. de Chine	1 kg + 0,271 mg (1965)
N° 61 (*)		1 kg + 0,187 mg (1965)
N° 62	Italie	1 kg - 0,949 mg (1974)
N° 63	non attribué	
N° 64	Rép. Pop. de Chine	1 kg + 0,249 mg (1983)
N° 65	Tchécoslovaquie	1 kg + 0,196 mg (1983)
N° 66	Brésil	1 kg + 0,134 mg (1983)
N° 67	BIPM	1 kg + 0,152 mg (1983)
N° 68	Rép. Pop. Dém. de Corée	1 kg + 0,354 mg (1987)

* réformé en 1978.

En conclusion de son rapport Mr BRAY donne lecture des projets de résolution A et B qui figurent dans la Convocation à la Conférence.

Ce rapport ne donne lieu à aucune remarque ni question de la part des délégués.

9. Seconde et échelle de Temps atomique international

La parole est donnée à Mr KOVALEVSKY pour la présentation de son rapport et la lecture des projets de résolution. La question est particulièrement importante puisque la 18^e Conférence Générale doit prendre une décision de poids dans ce domaine.

Transfert de la responsabilité du TAI au BIPM

Les cinq années qui viennent de s'écouler depuis la dernière réunion de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) ont été essentiellement marquées par le profond changement du statut du groupe chargé de l'établissement du Temps atomique international (TAI). En effet, le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) a été conduit à proposer et mettre en œuvre le transfert de la responsabilité de l'établissement de l'échelle du TAI au BIPM, alors que précédemment c'était le Bureau International de l'Heure (BIH) qui en était chargé. Situé à l'Observatoire de Paris et largement financé par ce dernier, le BIH était néanmoins activement soutenu par le BIPM, conformément aux résolutions de la 14^e et de la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures. Ainsi, depuis plusieurs années, un membre du personnel du BIPM travaillait au BIH et participait à l'établissement du TAI. Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) suivait en détail le travail du BIH et les recommandations qu'il émettait étaient respectées par cet organisme qui se trouvait ainsi scientifiquement contrôlé par le CIPM.

Telle était toujours la situation en 1983 et rien ne laissait supposer qu'il allait être nécessaire de la modifier de façon urgente. Cependant il y a eu, lors de la Conférence Générale de 1983, un événement qui a augmenté encore plus l'importance de l'unité de temps pour le BIPM : la nouvelle définition du mètre est désormais fondée sur une mesure de temps. Ceci, joint au fait que de nombreuses autres mesures métrologiques, notamment en électricité, font constamment appel aux fréquences, rendait encore plus anormal que la seconde soit la seule unité fondamentale dont le BIPM n'ait pas la charge primaire. Il était donc normal qu'à plus ou moins brève échéance la responsabilité du TAI passe de l'Observatoire de Paris au BIPM.

Mais c'est dès 1984 que s'est produit l'événement qui a obligé le CIPM à brûler les étapes et à entamer ce transfert. En effet, le Bureau International de l'Heure avait à l'Observatoire de Paris à la fois les responsabilités de service international pour la rotation de la Terre (ce qui implique aussi le suivi du mouvement du pôle) et celle du Temps atomique international. Or, contrairement à la première activité, celle du TAI n'a rien d'astronomique et l'Observatoire de Paris éprouvait des difficultés croissantes à y maintenir le personnel nécessaire ; cette activité se trouvait donc exposée à des perturbations graves, pouvant aller jusqu'à l'interruption du service. Placé devant cette éventualité, le directeur du BIPM, soutenu par le CIPM, entamait des discussions avec le président de l'Observatoire de Paris qui aboutissaient à un protocole d'accord d'après lequel la responsabilité matérielle et financière de l'établissement du TAI passait au BIPM en 1985. La mise en place fut achevée en avril 1985.

Néanmoins, la structure du BIH était provisoirement conservée, c'est-à-dire que le Bureau International de l'Heure en tant qu'organisme dépendant de trois unions scientifiques internationales (Union astronomique internationale, Union radio-scientifique internationale et Union géodésique et géophysique internationale) continuait, avec le CIPM, à être l'interlocuteur de ces unions pour le TAI.

Cette situation provisoire devrait prendre fin en 1987 : les unions internationales auront alors toutes donné leur accord pour remettre la responsabilité du TAI au BIPM et le CIPM présente à cette 18^e Conférence Générale un projet de résolution approuvant ce transfert et le rendant définitif (projet de résolution C, page 18).

Lors de sa réunion de juin 1985, le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (CCDS) a longuement étudié la situation nouvelle ainsi créée. Il était

important d'organiser le nouveau service de telle façon que les liaisons avec les laboratoires participant à l'élaboration du TAI et avec les utilisateurs les plus exigeants soient assurées au moins aussi bien que précédemment et, si possible, mieux. Rappelons à ce propos que l'échelle du TAI repose sur les données d'une quarantaine de laboratoires ou centres nationaux de 22 pays qui disposent de 10 étalons de temps de grande exactitude (dont 6 en fonctionnement continu), d'environ 190 horloges à césium de construction industrielle, moins exactes mais très stables, et de plusieurs masers à hydrogène. Tous ces laboratoires envoient au BIPM les résultats des comparaisons de leurs horloges avec une échelle de temps atomique ou de UTC, locale ou non, ou encore avec des signaux émis par des systèmes de navigation ou des satellites. Grâce à ces données, le TAI peut être construit avec une exactitude qui est actuellement de l'ordre de 10^{-13} . Par ailleurs, les utilisateurs du TAI, jusqu'à présent représentés par les trois unions internationales dont dépendait le BIH, doivent continuer à avoir leur mot à dire sur la réalisation et la dissémination du TAI ou de sa forme pratique, le Temps universel coordonné, UTC. L'UTC ne diffère du TAI que par une constante qui change actuellement d'une seconde ronde tous les deux ans afin de maintenir l'échelle UTC à moins de 0,9 seconde du Temps universel, lui-même calé sur la rotation de la Terre. Il était donc naturel que ces unions scientifiques internationales puissent continuer à avoir la possibilité de s'assurer en permanence que le service du TAI répond à leurs exigences.

C'est pourquoi, sur proposition du CCDS, et dès que la responsabilité sera définitivement transférée au BIPM, le CIPM créera un groupe de travail du CCDS sur le TAI comprenant des représentants de ces unions et du Comité consultatif international des radiocommunications afin d'examiner les remarques et desiderata exprimés par les utilisateurs du service du TAI et de préparer les directives à soumettre au CCDS pour l'amélioration de ce service. En revanche, il a été jugé que le CCDS devait prendre une part plus active dans le contrôle technique du travail de l'établissement du TAI ; en particulier, les conditions à remplir par le pilotage devraient être définies désormais par le CCDS et non par le groupe de travail sur le pilotage du TAI créé en 1977, groupe qui est donc supprimé (Recommandation S1, 1985).

Quant aux relations avec les laboratoires qui participent aux travaux sur le TAI, le CCDS a approuvé l'idée de réunir périodiquement l'ensemble des responsables pour discuter tous les problèmes qui se posent à ces laboratoires dans leur travail ou leurs relations avec le BIPM.

Progrès relatifs à la réalisation de la seconde

La réalisation de l'unité de temps à l'aide d'étalons primaires reste la base sur laquelle repose la conformité de la distribution du temps, sous la forme du TAI ou de l'UTC, avec la définition de la seconde. Ce sont en effet les résultats des mesures effectuées sur ces étalons qui assurent le « pilotage » de l'échelle de temps, c'est-à-dire l'évaluation de la durée de l'intervalle unitaire de l'échelle de temps construite à partir des données des laboratoires participants et la correction de celle-ci pour obtenir le TAI définitif. Pour le moment, il n'y a toujours que cinq laboratoires dans le monde avec dix étalons en service qui permettent d'effectuer ce pilotage.

Bien que l'on estime actuellement que ces étalons devraient assurer une stabilité de la diffusion de la seconde par le TAI avec une exactitude de l'ordre de 10^{-14} , des écarts de l'ordre de 2×10^{-13} entre certains étalons primaires ont été constatés, notamment en 1984, ce qui implique que la réalisation du TAI n'a probablement pas

cette exactitude. En revanche, il est clair que la valeur de $\pm 1 \times 10^{-13}$ est certainement atteinte. De grands efforts pour améliorer cette situation sont déployés dans les laboratoires, et ce dans plusieurs directions différentes.

1. Les laboratoires concernés essaient de comprendre les raisons des divergences entre les étalons afin d'y remédier.
2. De nouveaux laboratoires ont entrepris la construction d'étalons primaires.
3. On étudie la construction d'étalons à jet de césium à pompage optique qui devraient théoriquement améliorer les performances.
4. On continue à utiliser des masers à hydrogène et à en poursuivre des développements techniques. Bien que des stabilités de l'ordre de 10^{-14} à 10^{-15} soient citées, le défaut d'exactitude reste important. D'autres étalons atomiques de fréquence, comme des horloges à confinement d'ions ou des lasers stabilisés, sont prometteurs. Mais le choix de la transition du césium reste toujours le meilleur pour la définition de la seconde.

Dans un avenir plus lointain, il ne paraît pas utopique de penser que des exactitudes et des stabilités de l'ordre de 10^{-16} pourraient être atteintes avec des horloges à jet d'atomes de césium ralentis. Mais, à ce niveau de précision, l'effet de rayonnement de corps noir devient très important puisqu'il est estimé à $1,6 \times 10^{-14}$ pour une horloge de type courant. D'autres perturbations d'origine électromagnétique ou dues à l'échange de spins existent également. Le CCDS a tenu à affirmer que, même si ces effets n'ont pas été explicitement cités, il est bien entendu que la définition de la seconde se rapporte à un atome de césium au repos et non perturbé. Cependant, il n'est pas certain que la théorie de ces effets soit suffisamment bien établie pour appliquer les corrections correspondantes à coup sûr. C'est la raison pour laquelle le CCDS a émis une recommandation à ce sujet. Celle-ci a été reprise par le CIPM qui la soumet à la présente Conférence Générale (projet de résolution E, page 19).

Diffusion de l'échelle de temps

À la différence des autres grandeurs physiques, l'aspect métrologique du temps est double. Il y a le problème de la réalisation et de la reproductibilité de l'unité — la seconde — mais il y a aussi celui du repérage des événements dans une échelle de temps, le TAI, conçue comme étant une succession de secondes dans des conditions bien déterminées, à savoir produites par des horloges fixes par rapport à la Terre et au niveau du géoïde. La réalisation du TAI et sa diffusion permettent à la fois de créer une échelle de temps internationale unique et de déterminer les corrections à apporter aux horloges ou aux échelles de temps locales pour dater les événements dans cette unique échelle de temps.

Pour assurer cette double tâche, il faut pouvoir comparer à distance des horloges, et ce, avec la meilleure précision possible.

Depuis une quinzaine d'années, le LORAN-C a été le système largement utilisé pour les comparaisons de temps à longue distance. À distance plus courte, on utilise aussi le réseau de transmission de la télévision. Cependant, quelques expériences de transfert de temps par satellite avaient été effectuées et avaient montré la qualité de ce mode de transmission.

Désormais, on dispose d'une nouvelle méthode de synchronisation fondée sur le système de navigation et de positionnement américain GPS (Global Positioning

System). Le stade expérimental du système s'est achevé en 1985 avec la mise en place de six satellites, alors que le système définitif comprendra dix-huit satellites et sera accessible à chaque instant de tout point de la Terre. Le CCDS a longuement discuté la mise en œuvre du GPS pour les comparaisons de temps. Ce système permet d'ores et déjà des comparaisons de temps avec une précision de l'ordre de 10 ns, encore que des effets systématiques supérieurs à cette valeur semblent subsister. Des études sur les méthodes de réduction et sur les corrections qu'il faut y apporter devront être poursuivies et des normes d'utilisation devront être établies. Introduit en 1983, le GPS était déjà utilisé en 1986 pour relier douze laboratoires participant au TAI. Le premier résultat important a été de réaliser des comparaisons systématiques de temps avec les laboratoires d'Australie et des pays d'Extrême-Orient. L'incertitude sur les écarts entre les échelles de temps comparées par cette méthode est en général inférieure à 50 ns.

Cependant, à propos de ces nouvelles méthodes de synchronisation, le CCDS a tenu à faire deux remarques :

1. Il est toujours souhaitable de s'appuyer sur plusieurs techniques. Aussi, en plus du GPS, il faudrait pouvoir compter sur d'autres méthodes spatiales.
2. Le système GPS est un système militaire auquel certains pays n'auront pas accès. Pour certains autres, il est possible qu'ils ne puissent utiliser qu'une version dégradée.

Il est donc nécessaire d'expérimenter et de mettre en place d'autres systèmes. Une des méthodes consiste à superposer aux transmissions de satellites de télécommunications des séries de signaux codés selon des séquences complexes bien définies, non périodiques (dites pseudo-aléatoires), telles qu'elles ne gênent pas les transmissions mais puissent être reconnues par des récepteurs spécialisés. Des expériences ont déjà eu lieu, mais sans qu'il y ait eu de réalisation concrète. Dans le but de stimuler ces méthodes, le CCDS a suggéré, dans une recommandation, de demander aux agences responsables de satellites de télécommunication d'apporter leur soutien à de telles expériences. Cette recommandation a été approuvée par le CIPM qui la soumet à la Conférence Générale (projet de résolution D, page 19).

Développements futurs

Dans les années à venir, on devra encourager et suivre de près les développements dans au moins trois directions :

- La modélisation dans le cadre de la théorie de la Relativité générale des relations entre le TAI, les diverses autres échelles de temps propres ou coordonnées et les temps de la dynamique afin que le TAI soit accepté comme base de toutes les théories dépendant du temps.
- Les réalisations techniques nouvelles qui devraient conduire à de nouveaux gains en précision dont il faudra s'assurer qu'ils s'accompagnent d'un gain en exactitude par une modélisation complète des effets perturbateurs et la mise en œuvre des corrections correspondantes.
- La recherche de nouvelles méthodes permettant de réaliser ou d'observer des phénomènes ultra-stables. En particulier, il faudra étudier tout le parti qu'on pourrait tirer de l'observation de pulsars récemment découverts dont la période, de l'ordre de la milliseconde, aurait une stabilité de l'ordre de 10^{-19} .

Mr KOVALEVSKY donne ensuite lecture des trois projets de résolution C, D, E, qui concernent ce point de l'ordre du jour et figurent dans le document de Convocation qu'ont reçu les délégués.

Mr AUBOUIN remercie Mr Kovalevsky et demande à la Conférence les commentaires que certains pays pourraient avoir à faire.

Mr EGIDI (Italie) craint que, dans le projet de résolution C, on ait oublié de mentionner le Comité consultatif international des radiocommunications (CCIR) parmi les organisations internationales qui se sont déjà prononcées sur l'opportunité du transfert du TAI au BIPM.

Mr KOVALEVSKY répond que, dans le projet de résolution indiqué, seules sont mentionnées les unions qui ont effectivement voté une résolution formelle acceptant que les activités concernant le TAI soient transférées au BIPM. Ce n'est pas le cas du CCIR. L'objection de Mr EGIDI est prise en compte par la création, interne au CCDS, d'un groupe de travail chargé de faire la liaison avec les utilisateurs du TAI ; la présence d'un représentant du CCIR est prévue au sein de ce groupe de travail.

Aucun délégué ne demandant la parole, Mr DE BOER fait remarquer que, comme il en a été convenu, il ne sera procédé qu'ultérieurement au vote sur les projets de résolution. Toutefois, c'est maintenant que les délégués doivent exprimer leurs commentaires ou solliciter des explications sur cette question du transfert du TAI, dont il souligne l'importance.

Mr AUBOUIN constate que ce point de l'ordre du jour ne soulève aucune remarque et il passe au point suivant.

10. Étalons électriques

La parole est donnée à Mr AMBLER, président du Comité Consultatif d'Électricité pour la présentation de son rapport.

Depuis sa seizième session, qui s'est tenue en mars 1983, le Comité Consultatif d'Électricité s'est principalement consacré à l'utilisation de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique pour définir et conserver, respectivement, les représentations du volt et de l'ohm utilisées comme étalons de laboratoire ou comme étalons nationaux. Lors de cette session, le CCE a eu la conviction que (1) la valeur 483 594,0 GHz/V du quotient fréquence-tension de l'effet Josephson, recommandée par le CCE en 1972 pour définir et conserver les représentations du volt dans les laboratoires, était sensiblement erronée, et (2) qu'il était tout à fait probable que l'effet Hall quantique, dont la découverte remonte seulement à 1980, verrait son usage prochainement développé, et qu'il pourrait être utilisé pour définir et conserver les représentations de l'ohm dans les laboratoires. Le CCE était aussi conscient que quatre valeurs différentes du quotient fréquence-tension étaient utilisées par les laboratoires nationaux et que les représentations de l'ohm utilisées par les laboratoires évoluaient dans le temps, puisqu'elles étaient fondées sur la valeur moyenne de groupes de résistances. Le CCE a discuté de ces problèmes lors de sa dix-septième session en septembre 1986 et a étudié très en détail l'état des recherches dans le domaine de l'effet Josephson et de l'effet Hall quantique. Il a adopté deux déclarations et deux recommandations (voir *BIPM Com. Cons. Électricité*, 17, 1986).

Effet Josephson

Le CCE a soigneusement étudié les sujets suivants : la valeur du quotient fréquence-tension de l'effet Josephson utilisée par les divers laboratoires nationaux pour maintenir leur représentation du volt, l'exactitude obtenue actuellement dans la pratique à l'aide de l'effet Josephson, l'accord entre les étalons nationaux du volt fondés sur l'effet Josephson, les incertitudes associées aux valeurs obtenues lors des comparaisons de ces étalons du volt, les valeurs de $2e/h$ en unités SI, avec leurs incertitudes, obtenues par des procédés directs (mesure de force à l'aide d'une balance) ou indirects (déterminations à partir des constantes fondamentales), les perspectives de déterminations à venir et la nécessité d'autres comparaisons d'étalons nationaux du volt ou d'installations utilisant l'effet Josephson.

En conséquence, le CCE a adopté la Déclaration 1986/1, dans laquelle il a souligné l'importance de la diffusion du SI et reconnu que pour le commerce et l'industrie, il importe d'assurer l'uniformité au niveau international et la stabilité sur une longue période des représentations nationales du volt. Il a déclaré que la valeur du quotient fréquence-tension de l'effet Josephson utilisée pour conserver les représentations du volt devait être en accord avec le SI, qu'une telle valeur pourrait être prochainement adoptée et qu'elle devrait l'être par tous les pays en même temps. Il a créé un groupe de travail chargé de proposer au CCE une nouvelle valeur fondée sur tous les résultats qui lui seront communiqués avant le 15 juin 1988. Il a décidé de se réunir en septembre 1988 dans le but de recommander une nouvelle valeur qui prendra effet au 1^{er} janvier 1990. Il a fait savoir que cette nouvelle valeur sera supérieure d'environ 8×10^{-6} à celle actuellement utilisée. Il a recommandé que les laboratoires nationaux travaillent activement dans ce but et qu'aucun laboratoire ne change la valeur actuellement utilisée avant que la nouvelle valeur ne soit officiellement mise en vigueur. Il a déclaré sa conviction que la nouvelle valeur serait suffisamment exacte, en unités SI, pour qu'aucun changement ne soit nécessaire dans un avenir prévisible.

En raison du comportement peu satisfaisant des étalons qui servent actuellement au transfert du volt, le CCE a proposé au CIPM, qui l'a approuvée, la Recommandation E1 (1986) destinée à stimuler l'étude et l'amélioration d'étalons transportables qui permettent de transférer le volt d'un laboratoire à un autre.

Effet Hall quantique

Le CCE a discuté en détail des points suivants : les valeurs et exactitudes obtenues dans les mesures de la résistance quantifiée de Hall R_H en fonction des représentations de l'ohm des laboratoires et en fonction de l'unité SI, obtenues soit par des mesures à partir du condensateur calculable, soit par des déterminations des constantes fondamentales, les perspectives de nouvelles déterminations en unités SI, les résultats de comparaisons récentes des représentations nationales de l'unité de résistance ou de capacité (dont la quatorzième comparaison internationale des étalons nationaux de résistance et la troisième comparaison internationale circulaire d'étalons de capacité), l'accord entre les valeurs de R_H en unités SI et les valeurs mesurées en fonction des représentations des unités conservées par les laboratoires nationaux, les précautions à prendre pour s'assurer que les valeurs de R_H obtenues à partir d'un échantillon sont valables, les difficultés d'approvisionnement en bons échantillons et la nécessité d'autres comparaisons d'étalons nationaux de résistance.

En conséquence, le CCE a adopté la Déclaration 1986/2, qui fait pendant à la Déclaration 1986/1, relative à l'effet Josephson. Dans la Déclaration 1986/2, le CCE

reconnaît les progrès rapides de l'effet Hall quantique pour maintenir des représentations stables et reproductibles de l'ohm, ainsi que les progrès effectués dans la détermination de R_H en unités SI. Cette déclaration exprime le souhait qu'une même valeur de R_H soit adoptée simultanément par tous les laboratoires qui décident d'utiliser la résistance de Hall quantifiée pour leur réalisation de l'ohm, et que cette valeur soit en accord avec le SI. Elle crée un groupe de travail chargé de proposer au CCE une valeur fondée sur tous les résultats qui lui seront communiqués avant le 15 juin 1988, et de mettre au point des directives pour une bonne utilisation de la résistance de Hall quantifiée aux fins de conservation d'une représentation de l'ohm. Le CCE décide de se réunir en septembre 1988 dans le but de recommander la mise en application de cette valeur de R_H à compter du 1^{er} janvier 1990. Il recommande que les laboratoires nationaux poursuivent activement leurs efforts, notamment en effectuant des comparaisons bilatérales, et que le BIPM organise en 1987-1988 une comparaison internationale d'étalons de résistance de 1 ohm en relation avec le travail sur l'effet Hall quantique. Il recommande qu'aucun laboratoire n'adopte une valeur de R_H pour sa représentation de l'ohm ni n'utilise l'effet Hall quantique pour modifier la dérive actuelle, jusqu'à ce que la valeur recommandée soit officiellement mise en vigueur. Il affirme sa confiance dans la valeur de R_H qui sera recommandée, et qui sera suffisamment exacte, en unités SI, pour qu'aucun changement ne soit nécessaire dans un avenir prévisible.

En raison de la connaissance imparfaite que nous avons de l'effet Hall quantique et du nombre limité de bons échantillons disponibles actuellement, le CCE a proposé au CIPM, qui l'a approuvée, la Recommandation E2 (1986) pour stimuler la fabrication et la caractérisation d'échantillons, pour améliorer la compréhension théorique et expérimentale de l'effet Hall quantique, et pour susciter des comparaisons d'installations sous les auspices du BIPM.

Le CIPM a estimé que les changements relatifs aux représentations du volt et de l'ohm sont particulièrement importants. Il propose donc à la Conférence Générale le projet de résolution F (voir page 20).

Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

La tâche principale de ce groupe de travail est d'organiser et de superviser des comparaisons internationales de divers étalons utilisés aux hautes fréquences. Six comparaisons ont été menées à bien depuis la dernière réunion du groupe de travail en mars 1983. Trois autres comparaisons sont achevées et devraient sous peu faire l'objet d'un rapport final. L'état d'avancement des comparaisons en cours a été examiné et cinq d'entre elles ont été abandonnées; il en reste quinze. De plus, huit nouveaux projets de comparaisons ont été retenus, dont un comprend des mesures de puissance sur fibres optiques. Sept sujets de comparaisons ont été envisagés, pour l'avenir.

Incidence des changements de l'Échelle pratique internationale de température (EIP-68)

L'ampleur des changements effectués dans l'EIP-68 et leur incidence éventuelle sur les étalons et les mesures électriques ont été discutés. Il a été suggéré que le remplacement de l'EIP-68 devrait intervenir à la même date que le changement de valeur des représentations du volt et de l'ohm dans les laboratoires nationaux, c'est-à-dire au 1^{er} janvier 1990.

Compte tenu de la portée des conséquences entraînées par les changements qui vont intervenir dans les représentations du volt et de l'ohm, il a semblé nécessaire d'en informer à l'avance les laboratoires et les utilisateurs intéressés, en indiquant une date probable d'échéance, pour que toute disposition puisse être prise en temps utile. C'est la raison pour laquelle le Comité Consultatif d'Électricité a recommandé au CIPM de présenter au vote de la Conférence Générale le projet de résolution F, dont Mr AMBLER donne lecture.

Mr AUBOUIN remercie Mr AMBLER pour son rapport et sollicite les commentaires des délégués. Le rapport et le projet de résolution F ne donnent lieu à aucune remarque, ni aucune question.

11. Échelle internationale pratique de température

Mr PRESTON-THOMAS, président du Comité Consultatif de Thermométrie donne lecture du rapport qui suit :

De 1889 à nos jours, le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) a recommandé successivement l'utilisation de plusieurs Échelles internationales de température dont chacune a été définie avec soin, puis éventuellement étendue et améliorée avant d'être remplacée par une autre échelle de température jugée meilleure encore. Ces échelles ont toujours visé à assurer l'uniformité des mesures de température, dont la reproductibilité et l'accord avec les valeurs de la température thermodynamique doivent l'une et l'autre se situer à un niveau convenable pour l'époque, et cela dans un domaine de température suffisant pour la plupart des besoins de la science et de la technique.

Les échelles de température actuellement en vigueur sont l'Échelle internationale pratique de température de 1968, révisée en 1975 (EIP-68), et une échelle pour les basses températures, l'Échelle provisoire de température de 1976 (EPT-76). En 1975, la Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures a demandé au CIPM d'élaborer une nouvelle échelle de température dont les valeurs seraient en meilleur accord avec les températures thermodynamiques que celles de l'EIP-68, et qui comporterait des améliorations sensibles à d'autres égards.

Un programme de travail provisoire présenté à la Seizième Conférence Générale, en 1979, a donné la date de 1987 comme date possible pour l'adoption d'une nouvelle échelle. Toutefois, au moment de la Dix-septième Conférence Générale, en 1983, il était clair que cet objectif ne pourrait pas être atteint en 1987, et qu'il valait mieux repousser l'échéance à 1989, si ce n'est 1991.

Le CCT s'est réuni deux fois depuis la Dix-septième Conférence Générale : en 1984 (15^e session) et en 1987 (16^e session). Ses divers groupes de travail, actuellement au nombre de quatre, se sont réunis plus fréquemment pour tenter de résoudre les problèmes très difficiles rencontrés par le comité et pour réduire les différences d'opinion entre ses membres quant à la meilleure méthode à suivre pour élaborer une nouvelle échelle de température ou même à la possibilité d'y parvenir.

Ces difficultés étaient encore nombreuses et apparemment insolubles lors de la session de 1984 du CCT. La perspective d'une solution à court terme semblait si éloignée que la date de la session suivante, d'abord prévue pour 1986, avait été laissée en suspens. L'année suivante, toutefois, les efforts des groupes de travail et

des sections de thermométrie des divers laboratoires furent suffisamment productifs pour permettre de résoudre les problèmes de principe évoqués précédemment, de fournir un bon nombre des résultats scientifiques et techniques nécessaires, d'envisager la réalisation pratique des nouveaux types de thermomètres requis et de progresser de façon substantielle dans la rédaction de la documentation associée. En conséquence, il a été possible de réunir le CCT en 1987 pour discuter d'un projet de nouvelle échelle, aboutissement des plans initiaux et des projets préliminaires, d'un projet de « Mise en pratique » (Supplementary Information) qui la compléterait et serait périodiquement mise à jour, et du projet d'un autre document important sur les méthodes secondaires de mesure de température. De plus, le CCT a passé en revue la soixantaine de documents que lui ont fait parvenir ses membres et qui se rapportaient à tel ou tel aspect de la nouvelle échelle proposée.

Lors de cette session, le CCT a décidé de proposer au CIPM l'adoption d'une Échelle internationale de température de 1990 (EIT-90), qui serait mise en vigueur au 1^{er} janvier 1990, en même temps que les nouvelles valeurs des représentations du volt et de l'ohm dont l'adoption sera proposée par le Comité Consultatif d'Électricité.

De façon analogue à ce que l'on envisage de faire pour les unités électriques, il a été proposé de publier, dès le 1^{er} janvier 1989, une table des différences entre les valeurs d'une même température, mesurée soit dans l'EIT-90 soit dans l'EIPT-68 ou l'EPT-76. Il est regrettable que ces différences soient d'un ordre de grandeur tel qu'elles seront appréciables pour un certain nombre d'utilisateurs de thermomètres de précision et que le changement constituera une gêne pour quelques-uns d'entre eux. Toutefois, il est clair que, si l'on repousse le changement à une date ultérieure, le nombre des utilisateurs touchés ne fera que croître, et par conséquent aussi le nombre des objections envers l'adoption d'une nouvelle échelle.

Le CCT estime qu'il est très probable que l'EIT-90 sera suffisamment en accord avec les températures thermodynamiques pour que les corrections ultérieures, si elles sont faites à temps, soient insignifiantes pour l'industrie et pour la plupart des utilisateurs, et ne concernent qu'un nombre très restreint de scientifiques.

Si la Conférence Générale approuve le projet de résolution G (voir page 21) qui lui est présenté et si le CIPM est d'accord avec les propositions du CCT, ce dernier se réunira en 1988 pour mettre au point dans ses derniers détails l'EIT-90 et la documentation qui l'accompagnera.

Les deux éléments principaux de cette documentation seront la « Mise en pratique de l'EIT-90 » (Supplementary information for the ITS-90) et les « Méthodes approchées pour réaliser l'EIT-90 » (Techniques for approximating the ITS-90). Ce dernier document devrait être particulièrement utile pour les scientifiques, ingénieurs et praticiens qui ont besoin de bonnes mesures de température plutôt que de mesures de la plus haute qualité.

Le CCT considère que son travail à venir consistera à mettre à jour périodiquement cette documentation, à préparer de nouvelles éditions de l'EIT-90 et, surtout, à rassembler, évaluer et publier les résultats des meilleures déterminations des températures thermodynamiques.

Le travail nécessaire pour préparer le remplacement de l'échelle de température actuelle aura duré près de vingt ans. J'aimerais exprimer ici ma gratitude aux membres du CCT et de ses groupes de travail, à tous les thermométristes dévoués qui, dans les laboratoires nationaux et au BIPM, ont contribué à cette tâche longue et ardue.

Comme dans le domaine des étalons électriques, les changements qui doivent intervenir dans l'échelle internationale de température auront des conséquences telles qu'il est préférable que laboratoires et utilisateurs divers en soient informés à l'avance pour prendre les dispositions qui s'imposent. C'est ce qui a amené le CCT à recommander au CIPM de soumettre à la Conférence Générale le projet de résolution G, dont Mr PRESTON-THOMAS donne lecture.

Mr AUBOUIN soumet le rapport et le projet de résolution à la discussion de la Conférence.

Mr EGIDI (Italie) exprime son appréciation de l'exposé de Mr PRESTON-THOMAS. Il le remercie d'avoir présenté non seulement les travaux effectués mais aussi les projets envisagés pour l'avenir. Il se réserve de faire des observations sur ce dernier sujet lorsque les points 15 et 16 de l'ordre du jour seront en discussion.

Mr KIND répond qu'en effet le point 16 de l'ordre du jour doit être l'occasion d'une discussion ouverte des travaux à effectuer au BIPM à l'avenir et plus précisément dans les quatre années pour lesquelles cette 18^e Conférence doit prendre des décisions.

Aucune autre remarque n'étant faite, Mr AUBOUIN constate que l'ordre du jour de la séance est épuisé et clôt la séance à 17 heures.

*
* *

À 18 h 30, le Ministre des Affaires étrangères de la République française a offert une réception aux délégués et à leurs épouses dans les salons du Centre de Conférences internationales de l'avenue Kléber.

Mr J.-P. MASSET, directeur des Nations unies et des Organisations internationales au Ministère des Affaires étrangères, accueille les délégués au nom du Ministre des Affaires étrangères en leur disant, dans les trois langues de la conférence, combien la France est attachée aux travaux de la Conférence Générale des Poids et Mesures et combien elle s'honore d'accueillir la CGPM. Il forme des vœux pour que les débats soient fructueux et se déroulent dans un climat d'harmonie.

Mr KIND remercie Mr MASSET pour ses aimables paroles. La Convention du Mètre est l'un des plus anciens traités créant un organisme intergouvernemental. Depuis sa signature, il existe une continuité due en grande partie à la générosité du Gouvernement français. La France est le vrai « patron » de la Convention du Mètre. En effet, le mètre du Palais de Justice, Place Vendôme, est plus ancien que la Convention du Mètre. Mr KIND remercie le Gouvernement français pour la belle réception qu'il a organisée.

VISITE DU BUREAU INTERNATIONAL
DES POIDS ET MESURES
ET DU DÉPÔT DES PROTOTYPES MÉTRIQUES

Mardi 13 octobre 1987, à 15 h

Comme de coutume la deuxième journée de la semaine a rassemblé les délégués à la Conférence Générale pour une visite des laboratoires du Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil.

Les délégués ont apprécié les explications que les physiciens du BIPM ont pu leur donner sur les travaux effectués, en visitant en particulier :

- le gravimètre transportable ;
- l'installation mettant en œuvre l'effet Hall quantique en vue de son utilisation pour la conservation de l'ohm ;
- les installations permettant les comparaisons de lasers asservis à $\lambda = 633 \text{ nm}$ et à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ ainsi que les études concernant de nouvelles radiations ($\lambda = 543 \text{ nm}$) ;
- les mesures de masse à l'aide de la balance Ruelprecht et de la balance Mettler automatique ainsi que le prototype de la balance à suspensions flexibles ;
- la salle de calcul du TAI ;
- la présentation d'appareillages utilisés pour la détermination de l'activité des radionucléides et pour l'établissement du Système international de référence, la comparaison internationale de mesure de kerma de neutrons et la détermination de l'équivalent de dose directionnel.

Ces visites ont été suivies, à 16 h 30, de la visite du Dépôt des Prototypes métriques et, à 17 heures, d'une réception au Pavillon de Breteuil offerte par le président du Comité International et le directeur du Bureau International.

*
* *

PROCÈS-VERBAL
DE LA VISITE DU DÉPÔT DES PROTOTYPES MÉTRIQUES

Le 13 octobre 1987, à 16 h 30, en présence du président du Comité International des Poids et Mesures, du directeur du Bureau International des Poids et Mesures et du représentant du conservateur des Archives de France, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clés qui ouvrent le Dépôt : celle qui est confiée au directeur du Bureau, celle qui est déposée aux Archives nationales, à Paris et que Madame J. Morin avait apportée, celle enfin dont le président du Comité International a la garde.

Les deux portes de fer du caveau ayant été ouvertes ainsi que le coffre-fort, on a constaté dans ce dernier la présence des Prototypes et de leurs témoins.

On a relevé les indications suivantes sur les instruments de mesure placés dans le coffre-fort :

Température actuelle.....	20,0 °C
Température maximale.....	21,0 °C
Température minimale.....	19,0 °C
État hygrométrique	65 %

On a alors refermé le coffre-fort ainsi que les portes du caveau.

*Le Directeur
du Bureau,*
P. GIACOMO

*La Documentaliste
aux Archives nationales*
Madame J. MORIN

*Le Président
du Comité,*
D. KIND

TROISIÈME SÉANCE
DE LA 18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES

tenue à l'Office international des épizooties
12, rue de Prony, Paris
le mercredi 14 octobre 1987, à 15 h 05

12. Photométrie, radiométrie

Le PRÉSIDENT donne la parole à Mr BLEVIN, président du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (CCPR), pour la présentation de son rapport.

En 1979 la Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures adoptait la nouvelle définition de la candela, l'unité de base du SI pour la photométrie, et demandait au Comité International des Poids et Mesures (CIPM) d'organiser des comparaisons internationales pour vérifier l'uniformité des résultats des mesures photométriques obtenues en utilisant la nouvelle définition. Ces comparaisons ont constitué l'activité principale du CCPR depuis la Dix-septième Conférence Générale, en 1983. Deux comparaisons centralisées, l'une de mesures d'intensité lumineuse et l'autre de mesures de flux lumineux, ont été réalisées au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

Les résultats de ces comparaisons internationales ont été examinés lors de la 11^e session du CCPR qui s'est tenue au BIPM du 30 septembre au 2 octobre 1986. Le nombre de laboratoires qui ont réalisé les unités photométriques conformément à la nouvelle définition a doublé, si bien que quinze laboratoires ont participé à la comparaison d'intensité lumineuse et onze à la comparaison de flux lumineux. Cette participation élargie a eu pour résultat une réduction significative de l'écart-type de la moyenne des résultats de chaque comparaison, bien que l'accord entre les laboratoires nationaux pris individuellement ne se soit que légèrement amélioré. L'écart-type de la moyenne des résultats est d'environ 0,15 %, pour l'intensité lumineuse comme pour le flux lumineux. De plus, comme les méthodes expérimentales utilisées pour réaliser ces unités ont été plus variées que par le passé, il est très probable que les résultats moyens sont des représentations plus exactes de la candela et du lumen. En conséquence, le CCPR est parvenu à la conclusion que les avantages de la nouvelle définition de la candela ont déjà été confirmés dans les faits.

Depuis le 1^{er} janvier 1987 les valeurs attribuées aux lampes étalons photométriques conservées par le BIPM ont été ajustées pour les mettre en accord avec les résultats

moyens des récentes comparaisons. Ces ajustements se sont traduits par une augmentation de 1 % des valeurs des étalons d'intensité lumineuse et par une diminution de 0,7 % des valeurs des étalons de flux lumineux. Puisque ces ajustements sont pratiquement d'égale grandeur mais de signe opposé, on peut conclure que la valeur de 683 lm/W pour l'efficacité lumineuse spectrale maximale, implicite dans la définition actuelle de la candela, est presque optimale pour assurer la continuité avec les représentations antérieures des unités photométriques. Ces mêmes ajustements indiquent aussi, toutefois, une divergence de 1,7 % entre les réalisations des unités de flux lumineux et d'intensité lumineuse antérieures à 1979. Cette divergence est totalement indépendante de la définition de la candela, mais elle met en évidence la difficulté que présentait jusqu'à maintenant le rattachement des étalons de flux lumineux aux étalons d'intensité lumineuse par goniophotométrie. Les goniophotomètres modernes et automatisés permettent d'effectuer ce rattachement avec une meilleure exactitude.

Sur les conseils du CCPR, le CIPM a recommandé qu'au 1^{er} juillet 1987 les laboratoires nationaux effectuent les ajustements nécessaires aux valeurs attribuées à leurs étalons photométriques pour les rendre cohérentes avec les définitions de la candela et du lumen. Il a aussi recommandé que ces laboratoires tiennent le BIPM informé, à cette même date, des ajustements qu'ils ont faits et des meilleures estimations des différences entre leurs valeurs ajustées et les valeurs moyennes résultant des récentes comparaisons internationales. Le BIPM propose de publier ces données. Il y a lieu de penser que les avantages potentiels de la nouvelle définition de la candela n'ont été jusqu'ici que partiellement mis à profit, il est donc instamment demandé aux laboratoires nationaux de continuer leurs recherches sur des méthodes radiométriques et photométriques exactes. Le CCPR n'envisage pas d'autre comparaison majeure de mesures photométriques pendant au moins quatre ans, période pendant laquelle des progrès importants pourraient avoir lieu.

En radiométrie, le CCPR a patronné une comparaison internationale de mesures de sensibilité spectrale de photodiodes au silicium pour deux radiations émises par des lasers dans le visible, comparaison dont le laboratoire pilote était le National Bureau of Standards (NBS). Bien que les résultats ne soient pas entièrement concluants en raison de certaines instabilités des photodiodes, il semble que les mesures effectuées par plusieurs laboratoires nationaux étaient uniformes à environ 0,2 % près.

Les membres du CCPR se sont montrés inquiets de voir que le BIPM ne dispose pas des moyens nécessaires pour servir de laboratoire pilote pour les comparaisons internationales de mesures radiométriques et spectroradiométriques. En conséquence, le CIPM a décidé de développer les moyens du BIPM dans le domaine des mesures d'éclairement énergétique spectral et de luminance énergétique spectrale dans le visible et les proches régions du spectre, et de flux énergétique dans le visible et le proche infrarouge. Ce dernier domaine est particulièrement important pour les rayonnements infrarouges utilisés dans les communications par fibres optiques.

Entre-temps, deux comparaisons radiométriques ont été prévues pour le proche avenir, avec le NBS comme laboratoire pilote. La première est une comparaison de mesures d'éclairement énergétique spectral dans le domaine des longueurs d'onde de 250 à 2 500 nm ; elle est organisée par les laboratoires du NBS à Gaithersburg. La seconde est une comparaison de mesures de luminance énergétique pour les trois domaines de l'infrarouge de 850, 1 300 et 1 550 nm utilisés dans les communications par fibres optiques : elle est organisée par les laboratoires du NBS à Boulder et supervisée conjointement par le Comité Consultatif d'Électricité et le CCPR.

Le CCPR continue de travailler en liaison avec d'autres organisations sur la mise au point de techniques de mesure plus exactes en photométrie et en radiométrie, en particulier avec la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE).

Mr BLEVIN ajoute que le CIPM a décidé la semaine précédente, lors de sa 76^e session, de convoquer une réunion conjointe de membres du CCPR et du Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences, groupe spécialisé du Comité Consultatif d'Électricité. Au cours de cette réunion seront discutées les questions relatives à l'utilisation des fibres optiques, utilisation qui se répand très rapidement; il s'agit en effet d'une technologie très prometteuse mais, comme dans tout nouveau domaine qui s'ouvre aux chercheurs et aux utilisateurs, de nombreux problèmes de mesure se posent. Ces problèmes intéressent aussi bien le domaine de la photométrie que celui des radiofréquences. Aussi convient-il de préciser quelle doit être ou quelle peut être l'action du BIPM.

Mr AUBOUIN remercie Mr BLEVIN pour son rapport et demande si celui-ci suscite des remarques de la part des délégués.

Aucun commentaire n'étant fait, le point suivant de l'ordre du jour est appelé.

13. Rayonnements ionisants

La parole est donnée à Mr SIEGBAHN, président du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, qui donne lecture du rapport suivant :

Le CCEMRI, ainsi que ses trois sections : Section I (Rayons X et γ , électrons), Section II (Mesure des Radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), se sont réunis en 1985 et leurs travaux ont été publiés conjointement dans un même document (*BIPM Com. Cons. Étalons Mes. Ray. Ionisants*, 11, 1985, 228 pages). La Section II s'est réunie en 1987; des réunions de la Section I et de la Section III sont prévues pour 1988, conformément au vœu du CIPM d'augmenter les intervalles entre les sessions du CCEMRI.

À l'occasion de l'étude du plan à long terme pour le travail scientifique du BIPM, le CIPM a défini comme première priorité pour les rayonnements ionisants le maintien des moyens actuels dans les domaines de la radioactivité et des rayons X et γ . Afin de maintenir le niveau de compétence dans ce dernier domaine, le groupe des rayons X, γ et celui des neutrons ont été rassemblés en un groupe de dosimétrie, ce qui devrait aussi permettre de conserver au BIPM une certaine compétence dans le domaine des mesures neutroniques. Les principaux résultats des travaux du CCEMRI, ainsi que les activités correspondantes du BIPM, sont présentés dans ce rapport par domaines d'activité des sections du CCEMRI.

Rayons X et γ , électrons

Les demandes de rattachement aux étalons de kerma dans l'air et de dose absorbée dans le graphite ou dans l'eau établis et maintenus au BIPM sont en augmentation.

Ces rattachements sont demandés par divers organismes :

- Les laboratoires nationaux qui disposent de leurs propres étalons et qui peuvent ainsi se comparer entre eux sur une période d'environ 20 ans avec un écart-type de l'ordre de 0,2 % pour le kerma dans l'air et la dose absorbée dans le graphite. Neuf comparaisons ont été effectuées depuis 1983 impliquant six pays.
- Les laboratoires nationaux qui ont délibérément choisi des étalons secondaires comme références nationales et qui envoient périodiquement leur instrument pour étalonnage au BIPM. Ainsi 41 chambres d'ionisation ont été étalonnées depuis 1983 pour 9 pays. Dans le meilleur cas, les facteurs d'étalonnage sont restés constants à 0,1 % près durant 10 ans.
- Des organisations internationales, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui gèrent un réseau de laboratoires dotés d'étalons secondaires comprenant 49 pays, dont un grand nombre de pays qui développent leurs moyens de mesure dans le domaine des rayonnements ionisants. Trois rattachements des références du laboratoire de l'AIEA ont été effectués depuis 1985.
- Des laboratoires nationaux et des organisations internationales qui organisent des distributions de dosimètres passifs (par exemple du type Fricke ou thermoluminescents). Ces organismes envoient aussi au BIPM un échantillonnage de ces dosimètres à irradier dans un fantôme d'eau en un point de référence où la dose absorbée est connue, puis lui communiquent la valeur qu'ils ont mesurée pour que la Section I puisse discuter l'ensemble des résultats. Deux irradiations ont été effectuées depuis 1985, date à laquelle le CCEMRI a mis en place cette pratique.

Des progrès ont été faits dans la connaissance des valeurs numériques pour les constantes physiques nécessaires à la réalisation des étalons d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée. On dispose de valeurs révisées des pouvoirs de ralentissement des électrons, de l'énergie moyenne nécessaire à la production d'une paire d'ions dans l'air, des coefficients d'absorption d'énergie et de l'énergie perdue par les électrons sous forme de rayonnement de freinage. La Section I recommande l'emploi des nouvelles valeurs à partir du 1^{er} janvier 1986. En conséquence, la valeur des étalons d'exposition du BIPM a été réduite d'environ 0,7 % pour le rayonnement du ⁶⁰Co à cette date.

À la suite des recommandations de l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) concernant l'emploi de nouvelles grandeurs dans le domaine de la protection contre les rayonnements, la Section I a recommandé l'extension des responsabilités du BIPM à la mesure de l'équivalent de dose ambiant pour les rayonnements X et γ de référence actuellement utilisés. L'AIEA a récemment envisagé la même mesure pour ses laboratoires secondaires de dosimétrie.

Mesure des radionucléides

Comparaisons internationales de mesures d'activité. — La mesure de l'activité des sources radioactives est l'un des domaines fondamentaux où de nouveaux problèmes restent à résoudre, en raison de la complexité des phénomènes eux-mêmes. D'une part les difficultés rencontrées dépendent essentiellement du radionucléide considéré, suivant que son schéma de désintégration est plus ou moins complexe et suivant la nature des rayonnements émis, d'autre part le comptage des désintégrations pose des problèmes encore mal résolus, sauf pour les cas les plus simples. Les principales actions dont s'occupe la Section II sont l'organisation de comparaisons internationales

de mesures d'activité portant sur divers radionucléides, choisis en raison de leur importance pratique, le développement d'un système international de référence, donnant des mesures relatives stables à long terme, et l'étude des phénomènes statistiques qui interviennent dans le comptage des désintégrations dans les sources radioactives.

¹³³Ba. — Après plusieurs comparaisons préliminaires qui ont permis de résoudre certains problèmes de radiochimie, une solution contenant du ¹³³Ba a été préparée et conditionnée par le NBS (États-Unis d'Amérique), puis distribuée à dix-neuf laboratoires qui ont transmis leurs résultats au BIPM. La dispersion totale des mesures était de 1,7 % et l'écart-type de la valeur moyenne 0,36 %. Les résultats de cette comparaison ont fait l'objet d'un rapport BIPM dont une version condensée sera publiée.

¹⁰⁹Cd. — Ce radionucléide est très utilisé pour étalonner l'efficacité des spectromètres à semiconducteurs. Comme il décroît par l'intermédiaire d'un état métastable à longue période ($T_{1/2} \approx 40$ s), on ne peut pas le mesurer par la méthode habituelle des coïncidences ; il faut donc utiliser des techniques spéciales.

Une comparaison préliminaire entre six laboratoires a pu être organisée en 1984 grâce au NAC (Afrique du Sud) qui a fourni la solution primaire et à l'OMH (Hongrie) qui s'est chargé de la dilution, du conditionnement et de l'expédition des échantillons. Les résultats ont été jugés suffisamment bons pour organiser une comparaison avec 18 laboratoires participants qui ont utilisé 13 méthodes de mesure différentes. Cette fois encore, le ¹⁰⁹Cd a été fourni par le NAC. La dispersion des résultats était de 2,6 %. Un projet de rapport final a été soumis à la Section II en juin 1987.

Les mesures de ¹⁰⁹Cd ont été faites au BIPM, d'une part avec le Système international de référence (SIR, voir plus loin), d'autre part avec un compteur à pression qui venait d'être construit au BIPM grâce à des schémas communiqués par la PTB. Les deux résultats obtenus sont en bon accord entre eux et avec la moyenne des autres laboratoires.

¹²⁵I. — Ce radionucléide est très utilisé en médecine nucléaire, mais les rayonnements X et gamma qu'il émet ont une énergie trop faible pour en permettre une mesure dans le SIR et aucune information n'existe sur l'uniformité des mesures sur le plan international. En conséquence, une comparaison restreinte a été organisée au printemps 1987, pour laquelle l'OMH a fourni la solution nécessaire. Six laboratoires ont transmis au BIPM huit résultats obtenus par quatre méthodes différentes. La dispersion des valeurs de la concentration radioactive mesurée est 1,7 % et l'écart-type de leur moyenne 0,18 %.

Système international de référence pour les mesures d'activité d'émetteurs de rayons gamma (SIR). — Ce système comprend actuellement environ 340 résultats indépendants obtenus en mesurant 47 radionucléides différents. Certains résultats ont été mis à jour en utilisant une méthode améliorée pour le calcul des corrections d'impuretés. Des mesures et des calculs ont été faits pour déterminer l'effet du rayonnement de freinage.

La stabilité du SIR, contrôlée avec les sources de référence de ²²⁶Ra, a été meilleure que 5×10^{-4} pendant une période de dix ans. La précision des mesures a augmenté régulièrement, mais les mesures d'activité de certains radionucléides doivent encore être améliorées pour obtenir une meilleure courbe d'efficacité relative.

Plusieurs laboratoires nationaux et l'International Committee for Radionuclide Metrology ont demandé au BIPM d'étendre le SIR pour y inclure des radionucléides qu'on ne peut pas mesurer avec les chambres d'ionisation existantes, par exemple

ceux qui décroissent par émission α ou β , ou par capture électronique, sans émission de rayons γ d'énergie suffisante. La cohérence internationale des mesures d'activité couvrant de tels radionucléides n'est pas jusqu'ici assurée. Le BIPM a accepté de prendre en charge ce problème. Il étendra les services du SIR dès qu'il aura acquis l'équipement et l'expérience nécessaires.

Groupes de travail et activités connexes du BIPM. — La section dépend de ses groupes de travail pour être informée sur les techniques utilisées dans les mesures d'activité, ainsi que pour recommander et mettre en œuvre de nouvelles actions. Les groupes de travail sur les comparaisons futures, sur les principes de la méthode des coïncidences, sur la compilation des expériences faites avec les systèmes NaI(Tl) à efficacité élevée et sur la préparation de sources minces ont fait un compte rendu de leur activité à la réunion de 1987. Deux nouveaux groupes de travail ont été constitués, l'un pour étudier les problèmes associés aux étalons de radium Hönigschmid et l'autre pour assister le BIPM dans l'extension du SIR.

Une grande partie de l'activité du BIPM est liée directement aux deux premiers groupes. Le groupe de travail sur les comparaisons futures organisera, outre la comparaison à grande échelle de ^{125}I en 1988, une comparaison restreinte de ^{75}Se en 1989; de plus, il étudiera une proposition de comparaison de mesures d'activité à des taux de comptage élevés ainsi que des méthodes pour comparer des gaz radioactifs, tels que le ^{85}Kr .

Le groupe de travail sur les principes de la méthode des coïncidences a fait de grands progrès. Il convient, en particulier, de mentionner une nouvelle version de la méthode d'échantillonnage sélectif mise au point au BIPM (appelée « aveugle » parce que l'enregistrement n'est plus visible) et qui utilise du matériel électronique courant. Elle peut donc être mise en œuvre par tout laboratoire de mesure d'activité de radionucléides. Des progrès ont été aussi faits au BIPM dans la mesure et dans l'application des temps morts généralisés. Ceci permet la détermination d'un temps mort intrinsèque au système électronique que l'on pensait jusque-là inaccessible. D'autres résultats nouveaux dans le domaine des statistiques de comptage sont décrits dans une série de rapports BIPM. Trente-six documents (articles, projets, rapports) ont circulé dans ce groupe de travail, dont 26 en provenance du BIPM, 3 de la PTB (République Fédérale d'Allemagne), 2 respectivement du LMRI (France), du NPL (Royaume-Uni) et de l'IER (Suisse), et 1 de l'IRK (Autriche).

Mesures neutroniques

La métrologie neutronique est une science jeune, en développement, dans laquelle la cohérence internationale est en train de s'établir grâce en particulier au programme de comparaisons organisé par la Section III durant ces dernières années.

Une comparaison du taux d'émission d'une source de ^{252}Cf a été effectuée par le NPL et le BIPM. Quatorze laboratoires y ont participé et les résultats ont été publiés. Leur dispersion (écart-type 0,6 %) est réduite d'un facteur 2 par rapport à une comparaison similaire organisée par le BIPM en 1987.

Trois comparaisons de débits de fluence de neutrons ont été organisées. Elles sont terminées et leurs résultats ont été publiés.

— Une comparaison de débits de fluence de neutrons de 2,5 et 5 MeV utilisant la réaction $^{115}\text{In}(n, n')^{115}\text{In}^m$, organisée par le Bureau central de mesures nucléaires, Geel, a réuni six participants.

— Deux comparaisons de débit de fluence organisées par le NPL, l'une de neutrons de 14,8 MeV fondée sur le rapport des sections efficaces du niobium et du zirconium, l'autre de neutrons de 0,144 MeV et 0,565 MeV fondée sur la réaction $^{115}\text{In}(n, \gamma)$, ont réuni respectivement 6 et 9 participants.

Les mesures de débits de fluence de neutrons se font en général avec une incertitude comprise entre 1,5 % et 2,5 % (écart-type). Les trois comparaisons précitées présentaient une dispersion maximale de 3 % ; elles ont clairement mis en évidence une influence importante des neutrons diffusés par l'environnement et par la cible, influence qui est souvent mal corrigée. Ces corrections donnent une indication précieuse sur la pureté des sources de neutrons ; elles peuvent affecter les déterminations de section efficace de manière importante.

Une comparaison de débit de fluence de neutrons couvrant toutes les énergies et utilisant des chambres à fission est en cours ; elle est pilotée par l'Atomic Energy Research Establishment (Royaume-Uni). Son intérêt réside principalement dans le fait qu'elle peut englober les accélérateurs linéaires, qui produisent un spectre blanc de neutrons, en même temps que les générateurs de Van de Graaff qui produisent des neutrons monoénergétiques.

Dans le domaine de la dosimétrie neutronique deux comparaisons sont l'une terminée l'autre en cours. Une comparaison organisée par le NPL, et dont les résultats sont publiés dans un rapport de ce laboratoire, a mis en évidence une réduction de la dispersion d'un facteur 3 par rapport aux comparaisons antérieures. Une comparaison ouverte est organisée par le BIPM, dans laquelle cet organisme fait circuler ses propres instruments de transfert et les vérifie avant et après chaque envoi. Huit laboratoires ont déjà participé à cette comparaison depuis son début en 1985. Les instruments de référence continuent à être disponibles à long terme pour permettre à tout laboratoire qui le désire de rejoindre la comparaison. Le BIPM joue ainsi le rôle de point de rassemblement et il a la responsabilité de garantir la stabilité à long terme des références.

Après avoir remercié Mr Siegbahn, le président de la Conférence ouvre la discussion.

Constatant que certaines activités du BIPM ont été réduites dans le programme de travail, Mr LEWISCH (Autriche) demande si tous les États membres ont été préalablement consultés.

Mr SIEGBAHN rappelle que ces réductions d'activité ont été décidées par le CIPM, il y a deux ans maintenant, du fait que les organes de la Convention du Mètre, et le BIPM en particulier, doivent se charger de l'étude d'un certain nombre de nouveaux sujets à cause de l'évolution scientifique générale. Ainsi qu'il a été dit, le BIPM a dû prendre en charge le Temps atomique international ; par ailleurs, il y a beaucoup de travail actuellement dans le domaine de l'électricité ; il en est de même dans le domaine des lasers pour lequel le rôle du BIPM est très important. Il a donc fallu que le CIPM, dans le cadre d'un même budget, établisse des priorités. Cela a donné lieu à de longues discussions. Il a fallu aussi tenir compte de problèmes de personnel. Bien évidemment, il serait souhaitable de pouvoir accroître le budget et de pouvoir revenir à une activité plus large pour le CCEMRI. En attendant, ont seuls été retenus les aspects les plus importants.

Mr AUBOUIN demande à Mr Lewisch si les précisions apportées par Mr Siegbahn le satisfont. Mr Lewisch le remercie.

Aucune autre question n'étant posée, la Conférence va prendre connaissance du rapport du Comité Consultatif des Unités.

14. Système international d'unités

La parole est donnée à Mr DE BOER, président du Comité Consultatif des Unités (CCU), pour la lecture de son rapport.

Il y a maintenant un peu plus de vingt-cinq ans que la 11^e CGPM a adopté le Système international d'unités (SI). C'était en fait l'aboutissement d'une longue suite d'études, de discussions et de décisions. Il est, par conséquent, difficile de parler réellement de l'âge ou de l'anniversaire du SI.

Néanmoins, je crois qu'il est justifié de célébrer l'introduction du SI à l'occasion de la présente Conférence Générale. Cette Conférence coïncide aussi de façon remarquable avec la commémoration d'un événement historique qui a été d'une importance fondamentale pour les concepts scientifiques sur lesquels est fondé le SI.

En effet, il y a 300 ans que parut en 1687 le fameux livre d'Isaac Newton, les *Principia*, dans lequel celui-ci présentait un exposé systématique des principes de la mécanique fondés sur le concept de « masse », celle-ci étant proportionnelle au « poids », mais distincte de ce dernier. Bien qu'il ne fût pas le premier à avoir introduit cette distinction, Newton a donné une base vraiment scientifique à la mécanique — terrestre et céleste. Et c'est vraiment un signe du génie de Newton que les principes de la mécanique développés dans les *Principia* soient essentiellement les mêmes que ceux qu'on utilise aujourd'hui. Pour le Système international, la masse est maintenant une des plus importantes grandeurs de base, la seule pour laquelle l'unité est encore définie par le prototype matériel conservé au BIPM.

Presque cent ans plus tard, consciente de la nécessité d'unifier la grande diversité des poids et mesures en usage à cette époque et de créer pour la science et le commerce un système d'unités acceptable pour tous, la Révolution française établissait le système métrique fondé sur le kilogramme et le mètre comme unités de masse et de longueur, système dont l'adoption avait été activement favorisée par Lavoisier et Laplace. Pour souligner la nécessité de l'adoption du système métrique par toutes les nations — suivant la devise « à tous les temps, à tous les peuples » — le Gouvernement français organisa en 1798-1799 une conférence scientifique internationale, la première de ce genre, réunissant des scientifiques de neuf différents royaumes et républiques européens, pendant plusieurs mois à Paris, pour vérifier les calculs et les mesures et pour approuver solennellement l'introduction du système.

Au commencement, l'introduction du système métrique, en France et en Europe, rencontra beaucoup de résistance : il apportait des changements profonds dans la vie quotidienne et dans les usages commerciaux. Mais le développement rapide de l'industrie et du commerce força la société à suivre la voie ouverte par la Révolution française et à consolider l'implantation du système métrique : en 1875, dix-sept États signèrent la Convention du Mètre et se mirent d'accord pour fonder et entretenir à frais communs le Bureau International des Poids et Mesures.

Pendant la première Conférence Générale des Poids et Mesures, en 1889 — exactement cent ans après le début de la Révolution française — les prototypes nationaux du kilogramme et du mètre furent distribués à chacun des États et les prototypes internationaux conservés au BIPM, à Sèvres, devinrent la base de la définition du mètre et du kilogramme. En fait, c'était la consécration du système métrique et le commencement de sa diffusion mondiale, diffusion qui se poursuit aujourd'hui encore : le nombre de pays membres de la Convention du Mètre a presque triplé depuis lors.

Pendant ce même XIX^e siècle les sciences physiques, et en particulier la métrologie, avaient fait des progrès remarquables. En Allemagne, Wilhelm Weber et Karl Friedrich Gauss, avec leurs recherches fondamentales sur les mesures « absolues » des grandeurs électriques et magnétiques, et en Angleterre la British Association for the Advancement of Science (BAAS), stimulée par James Clerk Maxwell et Sir William Thomson, connu ultérieurement sous le nom de Lord Kelvin, développèrent vraiment le concept de système d'unités : un système fondé sur un nombre limité d'unités de base, à partir desquelles les autres unités sont dérivées de façon cohérente. Le système d'unités introduit par la BAAS en 1873 était le système CGS fondé sur les trois unités de base de la mécanique : le centimètre, le gramme et la seconde, mais ce système permettait d'exprimer aussi les mesures électriques et magnétiques d'une façon cohérente. Tout cela constituait un progrès important pour la présentation systématique et mathématique de la physique, c'était aussi un pas décisif pour le développement de la métrologie de précision.

À la fin du XIX^e siècle, de nouveaux développements importants se produisirent : la croissance continue de l'industrie électrotechnique stimulait largement les efforts pour assurer l'unification internationale des unités électriques et magnétiques. Le premier Congrès international d'électricité, tenu à Paris en 1881, sanctionna l'usage et les définitions des unités pratiques, dites « absolues » : l'ohm, le volt et l'ampère — unités incohérentes — déjà introduites par la BAAS et déduites des unités CGS correspondantes en multipliant celles-ci par des puissances entières de dix « convenables ». Mais le cinquième Congrès, à Chicago en 1893, prit une décision dont la portée fondamentale ne se manifesta que par la suite : au lieu de la définition « absolue » des unités pratiques, il adopta pour l'ohm, le volt et l'ampère des définitions fondées sur des *représentations matérielles*. Cette décision s'écarterait délibérément des principes de base sur lesquels s'appuyaient le système CGS et les unités pratiques pour l'électricité établies dans les années précédentes. De plus, elle se trouvait en conflit avec les principes du système métrique, sur lesquels étaient fondées les décisions de la 1^{re} CGPM, qui se tenait à Paris presque à la même époque. Elle creusait entre les différentes opinions concernant un futur système pratique d'unités un fossé tel qu'il faudrait une cinquantaine d'années pour le combler.

Il n'est pas possible de retracer ici toute l'histoire des unités électriques. D'une part, on s'efforçait d'améliorer la définition métrologique des unités électriques et, d'autre part, on essayait de constituer une synthèse des unités électriques et mécaniques dans un système d'unités unique, pratique et cohérent, comme celui que proposa Giorgi dans une tentative remarquable. En 1921, une révision de la Convention du Mètre étendit explicitement sa compétence aux unités électriques et photométriques, puis le comité international constitua un Comité Consultatif d'Électricité — le premier comité consultatif — pour le conseiller sur ces problèmes. En 1933, la 8^e Conférence Générale prit une décision importante : elle sanctionna le principe du système d'unités électriques dites « absolues » et donna pouvoir au Comité International pour établir

un système pratique d'unités fondé sur ce principe. Pendant les dernières années avant la seconde guerre mondiale, des échanges de vues intensifs se développèrent entre les organisations internationales intéressées — la Commission électrotechnique internationale, la Commission SUN de l'Union internationale de physique pure et appliquée et le Comité Consultatif d'Électricité du CIPM — pour choisir la quatrième unité de base, de nature électrique. Malheureusement, ces discussions furent interrompues par la guerre.

Après la guerre, à la demande de la 9^e Conférence Générale, le Comité International procéda à une enquête dans les milieux scientifiques et techniques. À la lumière des résultats de cette enquête, la 10^e Conférence Générale adopta comme unités de base, pour le futur système pratique d'unités, le mètre, le kilogramme, la seconde, l'ampère, le kelvin et la candela. Ce fut finalement en 1960, il y a maintenant un peu plus de vingt-cinq années, que la 11^e Conférence Générale créa, par sa fameuse Résolution 12, le *Système international d'unités*, fondé sur six unités de base : le mètre, la seconde, le kilogramme, l'ampère, le kelvin et la candela, auxquelles la 14^e CGPM a encore ajouté une septième : la mole.

Ce bref aperçu historique, donné pour célébrer l'introduction du Système international, il y a vingt-cinq ans, montre comment les mots de Newton « If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants » s'appliquent aussi à la création du SI : le développement de ce système est le résultat d'une longue histoire, à laquelle un grand nombre de personnes — scientifiques, ingénieurs et hommes politiques — ont apporté leur contribution, stimulés par les exigences croissantes d'une société industrielle en évolution.

Il incombe maintenant au Comité International, conseillé par le Comité Consultatif des Unités, de veiller à la mise en œuvre du SI. C'est un système adapté aux besoins de la science, de la technologie, de l'industrie et du commerce et son adoption implique l'obligation de se conformer soigneusement à la notation, aux symboles et aux règles adoptés par la Conférence Générale.

Afin de favoriser le plus possible l'emploi correct du SI dans le monde entier, le Bureau International a publié dès 1970 la brochure « *Le Système International d'Unités (SI)* », donnant un exposé systématique du SI, les définitions et symboles des unités de base, les expressions et symboles des unités dérivées et les symboles et règles d'emploi des préfixes SI. Cette brochure, qui est rédigée par le CCU, est mise à jour périodiquement pour tenir compte des décisions de la CGPM et du CIPM.

Lors de sa 9^e session (1984), le CCU en a préparé une 5^e édition, qui a été publiée en 1985, et qui tient compte des modifications adoptées par la 17^e CGPM. Afin de rendre sa consultation plus facile, cette 5^e édition est bilingue. La traduction en langue anglaise a été rédigée en collaboration avec le National Physical Laboratory (Teddington) et le National Bureau of Standards (Washington), qui avaient déjà publié des traductions des éditions précédentes.

Pour conclure, on peut constater que le Système international d'unités, sauf pour quelques petites imperfections, satisfait maintenant largement les besoins de la science, de la technique, de l'industrie et du commerce. Pourtant, un tel système n'est pas complètement invariable : les progrès de la science et de la normalisation demanderont de temps en temps de petites retouches et adaptations pour le perfectionner. Mais on peut faire confiance aux générations futures pour préserver la simplicité et la beauté qui sont les caractéristiques les plus importantes du Système international d'unités.

Le PRÉSIDENT remercie Mr de Boer d'avoir ainsi tracé en quelques minutes une fresque historique du SI. Il se dit en particulier sensible à sa conclusion qui attire l'attention sur la simplicité et la beauté de ce système de mesure.

S'agissant du Système international d'unités, Mr EGIDI (Italie) tient à communiquer à l'ensemble de la Conférence l'information suivante :

« Nous avons à l'étude en Italie la célébration, à la fin de 1988 ou tout au début de 1989, du cinquantenaire du « Système Giorgi » d'unités de mesure.

« Permettez-moi avant tout de rappeler rapidement la contribution essentielle donnée par le Professeur Giorgi à la métrologie des grandeurs et des unités en commençant en 1901, lorsqu'il donna à Rome une conférence intitulée « unités rationnelles d'électromagnétisme ».

« À partir de là commença le long travail de discussion qui se termina à la Commission électrotechnique internationale par l'acceptation du système, sous la dénomination officielle de « Système Giorgi », et l'inclusion du système même (sans nommer Giorgi) dans les résolutions prises par le Comité Consultatif d'Électricité en 1935.

« Bien qu'il existe une littérature importante sur le sujet, je me limiterai à rappeler les points caractéristiques du système, à partir d'une citation extraite d'un livre publié à Milan en 1949 par Giorgi lui-même sous le titre *Verso l'elettrotecnica moderna*.

« ... Les questions sur les unités électriques vinrent au premier plan entre 1890 et 1900, et on remarqua les déficiences des systématisations qui existaient à l'époque.

« Le premier pas vers la formation des systèmes absolus avait été fait par Gauss dans son mémoire historique de 1833 (en latin) *Intensitas vis magneticae terrestis*, mais ni Gauss ni Weber (qui préconisa différents groupes d'unités) n'avaient proposé un système complet d'unités physiques et électriques. Ces deux grands savants eurent recours occasionnellement à des mesures absolues, déduites du millimètre, du milligramme et de la seconde, sans faire un usage systématique de ces unités fondamentales. Le besoin réel de systèmes complets et reconnus officiellement apparut à travers les applications électrotechniques, en particulier télégraphiques. Pour répondre à ce besoin, l'association britannique British Association for the Advancement of Science forma un premier Comité scientifique en 1862 et un deuxième en 1871. Du deuxième faisaient partie Maxwell, Lord Kelvin et d'autres grands savants, mais la plus grande partie du travail s'acheva avec le rapport fondamental de 1873 et le choix du système CGS classique fut l'œuvre de Maxwell.

« ... Il fut reconnu immédiatement qu'en partant du centimètre, du gramme et de la seconde, les unités dérivées étaient d'une « taille » extrêmement incommode : on proposa alors la série des unités pratiques, définies comme multiples et sous-multiples décimaux des unités électromagnétiques CGS.

« ... L'ensemble était complexe et il existait des discordances, entre autres l'irrationalité de 4π ... pour laquelle il y avait la proposition de Heaviside, ... pour résoudre une irrationalité formelle. ... À partir de 1894 je pensais que les nouvelles exigences de la science et de la technique demandaient une réforme de principe plus radicale, mais non une altération des valeurs des unités électriques déjà établies ; et j'eus la chance de reconnaître qu'en reprenant comme unités fondamentales les mêmes unités qui forment la base du système métrique décimal et en reconnaissant explicitement que les phénomènes électriques n'ont pas un caractère mécanique, il est justifié de donner droit de cité à une quatrième unité (grandeur) fondamentale en plus des trois autres et on parvient ainsi à un système qui est pratique et absolu en même temps et qui élimine les difficultés qui, pour quelque temps, semblaient insolubles. Après une considération attentive j'ai présenté la proposition de ce système lors de la réunion de l'Association électrotechnique italienne, à Rome, en octobre 1901. »

« La proposition de Giorgi fut appuyée par de nombreux savants, entre autres par Silvanus Thompson en 1904 à l'Institution of Electrical Engineers, par Arthur Erwin Kennelly, de Harvard, et par Arnold Sommerfeld, qui parla du « lit de Procuste » de trois unités, éliminé avec la « proposition giorgienne ». Elle fut adoptée à l'unanimité en juin 1935 par la CEI à Scheveningen-Bruxelles et confirmée en 1938 pendant la réunion suivante de la CEI à Torquay.

« Il est enfin bien connu que l'introduction de la quatrième unité était une espèce de « brise-glace » ; cela eut comme conséquence naturelle l'introduction d'autres unités, d'où le SI actuel, avec ses 7 unités fondamentales et 2 unités supplémentaires.

« Nous avons déjà demandé le patronnage du CIPM pour notre initiative.

« Si les délégués présents ici désirent recevoir d'autres informations lorsque nous aurons préparé un programme plus détaillé, ils sont priés d'inscrire leur nom sur la feuille que nous faisons circuler. »

Après cette intervention, Mr THOR (Suède) demande à son tour à prendre la parole :

« La remarque que je souhaite faire n'a aucun lien direct avec les détails du rapport de Mr de Boer.

« Tout d'abord je tiens à préciser qu'en ce moment je ne m'exprime pas en tant que membre de la délégation de la Suède, dont je fais partie, mais plutôt en tant que porte-parole de l'ISO, l'Organisation internationale de normalisation.

« Vous avez pu remarquer dans cette salle aujourd'hui des affiches annonçant la « Journée mondiale de la normalisation ». Cela concerne beaucoup les unités. En effet, ce 14 octobre 1987 se trouve être la 18^e journée mondiale de la normalisation. C'est aussi le 40^e anniversaire de l'ISO. Dans un message de Mr I. Yamashita, président de l'ISO, celui-ci dit qu' « en célébrant la journée

mondiale de la normalisation, nous prenons sur nos occupations et nos problèmes quotidiens le temps nécessaire pour apprécier les avantages qu'apporte la normalisation dans nos sociétés ».

« Je suis certain que cette Conférence, qui est reponsable du Système international d'unités, comprend pleinement la nécessité des normes. Je peux difficilement trouver un meilleur exemple de compréhension internationale, en dépit des barrières physiques et linguistiques, que le SI. Lorsque la Conférence Générale prend des décisions, l'information est transmise dans le monde entier par des canaux multiples. L'un des moyens, puissant et efficace, de transmettre des informations de ce type est sans nul doute celui que constituent les normes internationales, puisque l'ISO travaille en étroite coopération avec les organismes de normalisation dans près de 90 pays. J'aimerais saisir cette occasion, Monsieur le Président, pour demander à tous les délégués d'emporter ce message chez eux et de faire tout ce qui est en leur pouvoir pour renforcer les liens entre leur institut national de normalisation et l'ISO, et afin de réduire les divergences nationales qui existent dans les normes concernant les grandeurs et les unités. Enfin, Monsieur le Président, je tiens à exprimer mes remerciements à Mr Giacomo et à Mr Quinn, ainsi qu'au personnel du BIPM, pour toute l'aide que l'ISO/TC 12 (Grandeurs et unités) a reçue d'eux et, pour l'énorme travail consacré à ce même comité technique, à deux membres du Comité International, j'ai nommé Mr Jan de Boer et Mr Henning Højgaard Jensen. Merci Monsieur le Président. »

(Applaudissements).

Le PRÉSIDENT constate que cela conclut les rapports des Comités Consultatifs.

16. Dotation annuelle du Bureau International des Poids et Mesures

Le Groupe de travail pour la dotation du BIPM pour les quatre années 1989-1992 s'est réuni le mardi 13 octobre, le matin. Il s'est mis d'accord sur une proposition à présenter à l'ensemble de la Conférence Générale. Il paraît donc opportun au Président d'entendre maintenant le rapport que peut présenter Mr Preston-Thomas en tant que président de ce groupe de travail.

« Le président a demandé à chaque délégation présente, toutes les délégations membres du groupe de travail étant représentées à l'exception de la délégation de la Roumanie qui était absente, son opinion au sujet de l'augmentation de la dotation qui devrait être votée par la 18^e Conférence Générale.

« Toutes les délégations ont exprimé leur haute appréciation des travaux effectués par le BIPM et des services qu'il rend à tous les pays. Elles ont reconnu la nécessité d'assurer au BIPM des ressources qui ne mettent pas en danger la poursuite de ses activités. Elles ont aussi reconnu la difficulté de prévoir, dans les circonstances économiques actuelles, l'accroissement du niveau des prix en France pour les années 1989 à 1992.

« Quatre d'entre elles ont exprimé leur soutien pour la proposition du CIPM correspondant à une augmentation annuelle de 6 % de la dotation.

« Deux d'entre elles (celle des États-Unis d'Amérique et celle du Royaume-Uni) ont indiqué qu'elles ne pourraient pas approuver une augmentation supérieure à 4 %, en raison des restrictions économiques sévères imposées par leur Gouvernement.

« La majorité des délégations étaient prêtes à recommander à la Conférence Générale une augmentation annuelle de 5 %.

« Tenant compte des opinions exprimées par les délégations présentes dans le Groupe de travail et des opinions probables des autres délégations, le Groupe de travail propose à la Conférence Générale que la dotation soit augmentée de 5 % par an.

« Cette proposition est soutenue par neuf des délégations qui participaient au Groupe de travail et les deux délégations qui n'ont pas pu la soutenir ont fait part de leur intention de ne pas s'y opposer. »

Mr AUBOUIN remercie Mr Preston-Thomas pour ce rapport et ouvre la discussion.

Mr AMBLER (États-Unis d'Amérique) tient à préciser qu'il n'a pas la possibilité d'appuyer une proposition d'augmentation de 5 % et que c'est uniquement dans le but de ne pas bloquer les travaux de la Conférence et de ne pas conduire à devoir convoquer une nouvelle session de la Conférence que son Gouvernement s'abstient.

Le PRÉSIDENT propose de procéder à un vote indicatif qui permette aux délégations qui n'ont pas participé aux travaux du Groupe de travail sur la dotation de faire connaître leur position.

Par précaution, Mr DE BOER précise bien qu'il s'agit uniquement d'un vote indicatif destiné à connaître l'opinion de chaque délégation sur la proposition du Groupe de travail et non pas d'un vote final. Il rappelle aussi qu'aux termes de la Convention du Mètre, une seule opposition suffit à bloquer toute décision.

Ce premier vote indicatif donne les résultats suivants :

nombre de votes : 35

oui : 27

abstentions : 8 (États-Unis d'Amérique, Argentine, Australie, Irlande, Israël, Royaume-Uni, Thaïlande, Yougoslavie).

Après une interruption de séance d'environ 35 minutes, Mr AUBOUIN demande si quelqu'un souhaite faire un commentaire sur la question de la dotation. Il demande à Mr Kind, président du CIPM, de donner son avis sur cette question.

Mr KIND rappelle que le problème du budget est évidemment un point important. Il tient à dire quelques mots au nom du CIPM. Il a noté que deux pays (les États-Unis d'Amérique et le Royaume-Uni) ont nettement exprimé leur intention de s'abstenir lors du vote final dans le but unique de ne pas conduire la Conférence à une impasse. Il rappelle que le résultat du vote sera publié exactement dans les comptes rendus officiels de la Conférence.

Le nombre d'abstentions sera connu. De nombreuses abstentions pourraient donner l'impression que certains pays ne sont pas satisfaits du travail du BIPM; cela pourrait être compris comme un désaveu de l'action du CIPM. Si certaines difficultés existent, la Conférence Générale est l'occasion d'en discuter en détail. Il souhaite vivement que les chefs de délégation transforment leur abstention en un vote favorable.

Mr DE BOER estime de son devoir de demander à nouveau un vote informatif, pour donner aux délégations l'occasion d'exposer leur avis. En exprimant leur vote quelques délégations en précisent la raison.

Mr FARRAGHER (Irlande) indique que son abstention au premier tour était fondée uniquement sur des raisons financières d'économie. Il modifie son vote en vote positif.

Mr DEAN (Royaume-Uni) précise que cette fois-ci encore il doit s'abstenir. Toutefois, s'il lui est donné le temps de prendre contact avec son Gouvernement, il se peut qu'il ait la possibilité de modifier son vote.

Mme KANCHANALAI (Thaïlande) tient à dire que son abstention était essentiellement fondée sur des considérations financières d'économie, qu'elle ne traduisait aucune critique du travail fait par le BIPM en métrologie. Elle exprime par ailleurs le souhait qu'à l'avenir les documents de la Conférence Générale puissent être distribués en langue anglaise. Cela aiderait la Thaïlande, ainsi certainement que d'autres pays en voie de développement. Si cette demande est prise en considération, elle est prête à transformer son abstention en vote favorable. Cette remarque est accueillie par des applaudissements.

Mr KIND répond que le Comité prendra des mesures afin de tenir compte des désirs exprimés par la déléguée de la Thaïlande.

Le deuxième vote informatif donne les résultats suivants :

nombre de vote : 35

oui : 32

abstentions : 3 (États-Unis d'Amérique, Australie, Royaume-Uni).

Constatant qu'un large consensus semble s'être établi, Mr AUBOUIN estime qu'il est raisonnable que la Conférence Générale prenne maintenant connaissance du texte final du projet de résolution. Ce texte a été préparé en conformité avec les conclusions auxquelles est arrivé le Groupe de travail pour la dotation. La Conférence pourra ensuite procéder au vote définitif.

Mr DE BOER donne lecture du projet de résolution suivant :

Projet de résolution I

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

l'importance des travaux effectués par le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) et des services qu'il rend à tous les pays,

la nécessité d'assurer au BIPM des ressources minimales qui ne mettent pas en danger la poursuite de ces activités et

la difficulté de prévoir, dans les circonstances économiques actuelles, les moyens financiers minimaux nécessaires pour permettre au BIPM de remplir sa mission de centre mondial de la métrologie scientifique,

décide

que la partie fixe de la dotation annuelle du BIPM sera augmentée de telle façon que l'ensemble de la partie fixe et de la partie complémentaire (définie à l'Article 6 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre de 1875) soit, pour les États parties à la Convention à l'époque de la 18^e Conférence Générale des Poids et Mesures, porté à

17 960 000 francs-or en 1989
 18 858 000 francs-or en 1990
 19 801 000 francs-or en 1991
 20 791 000 francs-or en 1992.

Mr AUBOUIN demande à l'ensemble de la Conférence si celle-ci est disposée à procéder au vote final concernant la dotation du Bureau International des Poids et Mesures pour les quatre années 1989-1992. Il tient à souligner l'attitude coopérative de la délégation du Royaume-Uni laissant entrevoir une possibilité de transformer son abstention en vote positif, mais néanmoins pense préférable de passer au vote final sans attendre plus longtemps.

En tant que secrétaire de la 18^e Conférence Générale, Mr DE BOER procède au vote nominal définitif, dont le résultat est le suivant :

nombre de votes : 35

oui : 32

abstentions : 3 (États-Unis d'Amérique, Australie, Royaume-Uni).

Le projet de résolution est adopté.

Mr KIND, président du CIPM, remercie toutes les délégations et en particulier celles qui ont transformé leur abstention en vote positif. Il tient surtout à exprimer le souhait que les délégations qui n'ont pu le faire n'ont pas agi ainsi pour manifester un désaccord au sujet du travail du BIPM. Il remercie les États membres de la confiance qui est ainsi votée au BIPM et de lui permettre de poursuivre son action comme il l'a fait jusqu'à maintenant*.

La séance est levée à 17 h 10.

*
 * *

À 18 h 30, les délégués et leurs épouses ont été reçus à l'Hôtel de Beauharnais, résidence de l'Ambassadeur de la République Fédérale d'Allemagne.

* La délégation de la Roumanie, qui n'était pas présente lors de ce vote, a remis ultérieurement au secrétariat de la Conférence la note suivante :

« La délégation roumaine apprécie les résultats obtenus et les efforts accomplis par le Bureau International des Poids et Mesures en vue du perfectionnement et du développement de son activité dans de nouveaux domaines. Toutefois, notre délégation constate une augmentation substantielle du budget du BIPM au cours des dix dernières années, ce qui se traduit par une augmentation moyenne annuelle du budget de plus de 10 %, c'est-à-dire que la dotation a été doublée déjà pendant cette période. »

« En conséquence, nous considérons qu'il faut maintenir le budget établi pour l'année 1988 à un niveau absolument constant jusqu'en 1992, en diminuant, pour cela, une partie des investissements (construction de nouveaux bâtiments, par exemple) et des autres dépenses. »

QUATRIÈME SÉANCE
DE LA 18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DES POIDS ET MESURES

tenue à l'Office international des épizooties
12, rue de Prony, Paris
le jeudi 15 octobre 1987, à 15 h

8. 9. 10. 11. Le PRÉSIDENT ouvre la séance en accueillant les délégués et indiquant que l'ordre du jour prévoit la discussion et le vote des projets de résolution présentés lors des précédentes sessions à la fin des rapports des présidents des comités consultatifs. À la fin de la présentation des rapports l'occasion a déjà été donnée de faire les remarques, suggestions de modification ou tout autre commentaire souhaité.

Mr DE BOER donne lecture du projet A. Ce projet concerne la prochaine comparaison des prototypes nationaux du kilogramme avec le Prototype international.

Mr BLOUET (France) considère ce projet comme excellent. Il est en effet urgent, à son avis, que ce travail soit fait, car la dernière comparaison de ce genre remonte à près de quarante ans.

La résolution est adoptée, sans changement, à l'unanimité des délégations présentes.

Mr DE BOER donne lecture du projet B. Il concerne l'état superficiel des étalons de masse et les études qu'il serait souhaitable de poursuivre, car il s'agit là d'un domaine dans lequel subsistent encore beaucoup d'inconnues.

Cette résolution est adoptée, à main levée, à l'unanimité.

Mr DE BOER lit ensuite le projet de résolution C qui concerne la prise en charge du Temps atomique international. Il pense que la Conférence est bien informée de la situation à cet égard. La Convocation comportait en annexe une note explicative. Les délégués ont entendu sur la question le rapport de Mr Kind, président du CIPM, et celui de Mr Kovalevsky, président du CCDS.

Mr AUBOUIN soumet le projet de résolution au vote de la Conférence, qui l'adopte à l'unanimité.

Le transfert de TAI étant approuvé, il convient maintenant de progresser dans sa réalisation et de préparer des comparaisons de temps dans les meilleures conditions. C'est ce qui est proposé dans le projet de résolution D, dont Mr DE BOER donne lecture et qui est adopté à l'unanimité.

Le projet de résolution E concerne l'étude des effets perturbateurs dans la réalisation de la seconde. Il est lu par Mr DE BOER et adopté à l'unanimité.

Mr AUBOUIN présente ensuite le projet de résolution F dont le but est d'informer les laboratoires et les utilisateurs industriels des changements qui vont intervenir dans la réalisation de l'ohm et du volt. Mr DE BOER donne lecture de ce projet qui est adopté à l'unanimité.

Il en est de même pour le projet de résolution G qui prévoit la promulgation d'une nouvelle échelle de température et la publication des écarts entre celle-ci et l'EIPT-68. Ce projet est lui aussi adopté à l'unanimité.

17. Propositions de MM. les Délégués

La parole est donnée à Mr DE BOER pour la présentation du projet de résolution H. Au contraire des précédents, ce projet ne figure pas dans la Convocation, mais il fait suite à une proposition qui a été présentée par l'URSS et transmise en son temps au Gouvernement des autres États membres de la Convention du Mètre. Lors de sa récente session, le CIPM a étudié la question. La proposition de l'URSS lui a paru justifiée et il a formulé le projet de résolution H qui est maintenant soumis au vote de la Conférence.

Projet de résolution H

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant qu'après chaque Conférence Générale des Poids et Mesures la prise en compte des États qui ont adhéré à la Convention du Mètre après la Conférence Générale précédente devrait entraîner une réduction des pourcentages de répartition pour tous les autres États,

décide qu'un même facteur de réduction sera appliqué uniformément à tous les pourcentages de répartition, y compris le pourcentage maximal et le pourcentage minimal définis dans l'article 20 du Règlement annexé à la Convention du Mètre et modifiés par la 11^e et 16^e Conférences Générales des Poids et Mesures.

Après en avoir donné lecture, Mr DE BOER donne les précisions suivantes. Il rappelle que la dernière Conférence Générale a décidé de la dotation totale pour la période 1985-1988. La répartition de la dotation est fondée sur la proportionnalité avec les coefficients ONU, en tenant compte d'un maximum de 9,78 % et d'un minimum de 0,49 %. On obtient ainsi le pourcentage de répartition pour chaque État membre. Bien entendu la somme des pourcentages doit être égale à 100.

Pour les États qui ont adhéré pendant cette période 1985-1988 les contributions sont aussi proportionnelles aux coefficients ONU, mais ces

contributions sont prises en compte de façon séparée de la dotation totale. Au début de la nouvelle période 1989-1992, les contributions de ces nouveaux États sont ajoutées à la dotation totale et cette nouvelle somme totale constitue alors la base pour la nouvelle période; les pourcentages de répartition sont alors calculés de nouveau, c'est-à-dire multiplés par un même facteur de réduction afin d'inclure les pourcentages des nouveaux États et d'obtenir à nouveau une somme des pourcentages égale à 100.

Jusqu'à maintenant ce facteur de réduction n'est pas appliqué aux pourcentages maximal et minimal; ceci a pour conséquence que les États correspondants ont davantage à payer, en valeur absolue, après chaque nouvelle adhésion.

Le projet de résolution H a pour objectif de corriger cette anomalie et prévoit une application uniforme dudit facteur de réduction.

Mr DE BOER signale que, s'agissant d'une résolution qui a des implications financières pour les États, il convient, aux termes de la Convention du Mètre, qu'elle soit adoptée sans avis contraire.

Mr AUBOUIN demande à la Conférence si quelqu'un souhaite faire un commentaire au sujet de cette proposition. Personne n'exprimant d'avis contraire, il ne lui paraît pas nécessaire de procéder à un vote indicatif.

Mr DE BOER procède donc au vote définitif. La résolution est adoptée par un vote unanime de 36 voix favorables et sans abstention.

Une autre proposition avait été présentée par la République argentine et transmise en son temps au Gouvernement des autres États membres de la Convention du Mètre.

La parole est donnée à Mr STEINBERG (Argentine) qui fait la déclaration suivante :

« Au mois de mai 1987, la République argentine a présenté au BIPM une proposition concernant certains aspects des applications industrielles des rayonnements ionisants, pour soumission à la 18^e Conférence Générale. Cette proposition a été transmise au Gouvernement des États membres de la Convention du Mètre.

« Après discussion avec le directeur du BIPM et en accord avec la Commission à l'énergie atomique de l'Argentine, la Commission nationale argentine de métrologie a décidé de ne pas maintenir cette proposition. Elle est donc formellement retirée.

« Toutefois, dans le même temps, prenant en compte l'accroissement des activités de traitement par rayonnements ionisants des produits alimentaires ou médicaux et l'augmentation de la consommation de ces produits dans le monde, je voudrais attirer l'attention du CIPM et de son comité consultatif spécialisé, ainsi que celle de Messieurs les délégués, sur l'essence même de la question posée, laquelle exprime seulement le besoin d'établir les conditions appropriées pour que les organisations techniques responsables de ces traitements dans chaque pays puissent assurer le rattachement de leurs mesures aux

niveaux des doses absorbées très élevées, pour les diverses exigences, aux étalons internationaux. Merci, Monsieur le Président.»

Mr ROTONDI (Italie) tient à exprimer son accord complet avec ce que vient de dire le délégué de l'Argentine dans sa formulation présente.

Aucune autre délégation ne demandant à parler sur ce sujet, Mr AUBOUIN, en conclusion, pense que c'est un problème qui sera sans doute porté à l'ordre du jour d'une Conférence ultérieure.

15. Programme des travaux futurs

Mr KIND, président du CIPM, rappelle qu'une partie importante du rapport qu'il a eu le plaisir de présenter lors de la première séance portait sur les travaux effectués au BIPM depuis la 17^e Conférence Générale. Le point 17 de l'ordre du jour donne une occasion aux délégués de discuter du rapport qui a été distribué. Tous les États membres ont reçu les Procès-verbaux de la 75^e session du CIPM (1985) qui présente un plan à long terme pour le travail scientifique du BIPM dans les années 1980. C'est ce plan que le président souhaite voir maintenant discuter.

Mr AUBOUIN souligne que la discussion est ouverte très largement.

Se référant au document « Programme de travail et budget du BIPM pour les années 1989-1992, Mr MAGNIEN (France) souhaite faire les remarques suivantes :

« Le programme de travail établi par le CIPM pour le Bureau international propose de réduire certaines activités, notamment dans le domaine des températures.

« La réduction de l'activité d'étalonnage en thermométrie n'entraîne pas de conséquences fâcheuses pour la France, nous estimons cependant qu'elle constitue un précédent préoccupant pour l'avenir.

« Le Bureau International est une institution universellement appréciée, en particulier parce que *tous* les États membres y trouvent les services qu'ils sont en droit d'en attendre. L'abandon d'une partie de la fonction de service, fonction qui bénéficie du consensus international, risque, à terme, de gêner certains d'entre eux. La position du Bureau International s'en trouverait alors affaiblie.

« Il ne paraît pas par ailleurs judicieux d'abandonner pratiquement toute activité en thermométrie alors qu'on étudie une nouvelle échelle de température : la mise en pratique de cette nouvelle échelle nécessitera une coordination internationale dans laquelle le BIPM a un rôle à jouer.

« Nous sommes par contre tout à fait conscients de la nécessité, pour maintenir la compétence du Bureau International et lui permettre d'accomplir sa mission, de mener au Bureau certaines recherches métrologiques au plus haut niveau ; ceci ne doit cependant pas se faire au détriment des services fondamentaux.

« Nous recommandons donc très vivement que cette préoccupation soit prise en compte dans le programme actuel et futur du Bureau International. »

Mr KIND répond qu'il apprécie entièrement les arguments qui viennent d'être présentés. Il assure la délégation française qu'il partage le souci qu'elle a exprimé. Il rappelle qu'il existe des problèmes dans d'autres domaines que celui de la thermométrie. Le BIPM doit faire face à des difficultés dues à ses limites en personnel. Au cours d'une précédente session, Mr Siegbahn y a fait allusion lors de la présentation qu'il a faite des activités du CCEMRI. Les besoins des États membres changent. Le BIPM doit réagir en conséquence. Le travail du BIPM doit donc changer. Il a pu constater que les demandes d'étalonnage faites au BIPM dans le domaine de la thermométrie ont été relativement rares au cours des dernières années. Mr Kind suggère que Mr Preston-Thomas donne lui aussi son avis sur la question.

Mr PRESTON-THOMAS (Canada) se réfère lui aussi à ce qu'a dit Mr Siegbahn sur la nécessité devant laquelle le CIPM s'est trouvé d'établir des priorités dans les travaux du BIPM. Cela a fait l'objet de longues discussions au sein du CIPM, il y a deux ans. Mr Preston-Thomas rappelle que des physiciens tels que Mr Quinn, Mr Hudson et Mr Bonheure sont encore présents au BIPM. Il pourra donc être fait appel à leur grande expérience dans le domaine de la thermométrie si cela se révèle nécessaire dans l'avenir.

Mr EGIDI (Italie) rappelle qu'à la deuxième séance de la présente Conférence il s'était promis de faire des remarques sur ce sujet. Il a écouté avec le plus grand intérêt les réserves exprimées par la délégation française. Il tient pour sa part à insister très fortement sur le fait que l'Italie souhaite qu'une collaboration au « niveau maximal » soit poursuivie dans ce domaine, en première priorité, comme cela a été le cas jusqu'ici.

Sur cette même question Mr HILL (Tchécoslovaquie) demande à faire la déclaration suivante :

« Nous avons examiné très attentivement le document « Programme de travail et budget du BIPM », surtout la partie « comparaisons, attestations et vérifications internationales » et nous l'avons trouvé très important.

« Notre pays, comme beaucoup d'autres, ne peut pas suivre le progrès rapide de la science dans tous les domaines du mesurage, des définitions, de la réalisation et de la conservation des étalons primaires. Par conséquent, nous trouvons très important que le Bureau International des Poids et Mesures accomplisse sa tâche dans le domaine des références internationales pour les grandeurs choisies et pour leurs unités. Il est bien compréhensible qu'il ne peut être en mesure d'accomplir cette tâche qu'en étant, lui-même, à l'avant-garde du progrès.

« En conclusion, je voudrais constater que la Tchécoslovaquie a très bien apprécié, dans les dernières dix ou quinze années, toute l'aide apportée et les services rendus par le Bureau International des Poids et Mesures. Cela nous a considérablement aidés pour faire progresser notre métrologie nationale et la mettre au niveau des développements les plus modernes.

« Je me permets d'en remercier cordialement la direction et aussi tous les fonctionnaires du Bureau International des Poids et Mesures et j'espère qu'on prêtera encore autant d'attention à cette activité utile dans l'avenir. »

Mr KIND le remercie au nom du bureau du CIPM.

Aucune autre délégation ne demandant à intervenir, Mr AUBOUIN constate que ce point de l'ordre du jour est épuisé.

18. Renouvellement par moitié du Comité International

Mr AUBOUIN introduit ce point de l'ordre du jour en faisant distribuer à chaque délégation un bulletin de vote sur lequel sont inscrits neuf noms, ceux des membres du CIPM cooptés depuis la 17^e CGPM, soit 6 personnes (MM. Dean, Iizuka, Kovalevsky, Mekhannikov, Mitra et Sala), et ceux de trois autres membres qui ont été tirés au sort lors de la session du CIPM (MM. Blevin, Siegbahn, Wang), pour porter à 9 le nombre des membres dont l'élection ou la réélection est proposée par le CIPM à la Conférence Générale.

Mr DE BOER précise que tout nom figurant sur ce bulletin de vote peut être biffé et remplacé par un autre. Il rappelle toutefois que deux personnalités d'un même pays membre ne peuvent siéger au CIPM. Par ailleurs si un bulletin comporte plus de 9 noms, il sera considéré comme nul.

Mr ALTAN (Turquie) demande s'il est possible que les candidats se présentent individuellement. Le Président accédant à cette demande, chacune des personnalités dont le nom figure sur le bulletin de vote se lève et se présente en indiquant son pays d'origine, la fonction qu'il occupe dans ce pays et sa spécialité en physique.

Mr AUBOUIN suggère de désigner comme scrutateurs pour le dépouillement de ce vote Mr German et Mr Möbius, respectivement chef de la délégation de la République fédérale d'Allemagne et chef de la délégation de la République démocratique allemande.

Le vote a donc lieu à scrutin secret et donne comme résultats :

Membres sortant rééligibles	}	MM. Blevin.....	36 voix
		Dean.....	36 voix
		Iizuka.....	36 voix
		Kovalevsky	35 voix
		Mekhannikov.....	36 voix
		Mitra	35 voix
		Sala	36 voix
		Siegbahn	36 voix
		Wang.....	36 voix
autre candidat	Mr	Möbius.....	1 voix

Tous les membres sortants proposés par le Comité International des Poids et Mesures sont donc réélus.

19. Questions diverses

Constatant que les points de l'ordre du jour sont épuisés, Mr AUBOUIN donne la parole aux personnes qui souhaitent faire un commentaire sur un sujet de leur choix.

Mr GIACOMO tient à remercier, en son nom personnel et au nom du personnel du BIPM, tous les délégués qui ont accepté de consacrer cette semaine à s'occuper des affaires du BIPM. Il apprécie l'unanimité avec laquelle ils ont pris toutes les décisions. Il les remercie en particulier d'avoir donné au BIPM, pour les années à venir, les moyens de continuer son action au service de tous les États.

Mr AUBOUIN demande au président du CIPM d'en tirer les conclusions.

Mr KIND rappelle que cela fait trois ans qu'il préside le CIPM et que cela est un grand plaisir pour lui. Cette 18^e CGPM l'a convaincu que pendant les quatre années qui viennent de s'écouler le CIPM a bien servi la Convention du Mètre. Il est certain que le CIPM continuera à assumer cette tâche. Il tient aussi à rendre hommage à la façon dont Mr Aubouin a su de manière fort courtoise conduire les débats et il l'en remercie au nom de tous, car son rôle a été prépondérant dans le succès de cette 18^e CGPM.

Mr AUBOUIN remercie Mr Kind de ses aimables paroles à son égard. Il estime n'avoir fait que son devoir. Il exprime tout le plaisir que lui a apporté cette conférence et toutes les réflexions qu'elle lui a inspirées. Il rappelle qu'il est océanographe, mais qu'il a un respect qualitatif et quantitatif à l'égard de la mesure. Il évoque quelques souvenirs marquants pour lui. Tout d'abord lorsqu'il était élève et fréquentait une école non loin du BIPM, à Saint-Cloud, il avait appris que c'était là, au Pavillon de Breteuil, qu'étaient conservés le kilogramme et le mètre. Ensuite lorsqu'il est allé dans la Cordillère des Andes, son chemin a croisé la route de ces « fous » qui avaient été les initiateurs des grands programmes internationaux. Enfin une dernière image qu'il souhaite évoquer est celle du fond de la mer ; c'est là, dans le fond, où il fait très noir, où le positionnement est très important, qu'il a fait l'expérience de la dépendance où l'on se trouve par rapport à la mesure.

Il tient à ajouter que l'Académie des Sciences qu'il représente ici ressent comme un privilège et comme un honneur le devoir d'assurer la charge qui lui est attribuée. Les organes de la Convention du Mètre peuvent être assurés de sa collaboration et de son appui.

La séance est levée à 16 h 55.

*
* *

À 18 h 30, les délégués et leurs épouses ont été reçus dans les salons du Cercle interallié par l'Ambassadeur du Royaume-Uni.

RÉSOLUTIONS
ADOPTÉES PAR LA 18^e CONFÉRENCE GÉNÉRALE *

Troisième vérification des prototypes du kilogramme

RÉSOLUTION 1

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

rappelant et confirmant la Résolution 3 de la Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

ayant pris l'avis du Comité International des Poids et Mesures et ayant approuvé sa décision de procéder à une comparaison du Prototype international du kilogramme, de ses témoins et des prototypes d'usage du Bureau International des Poids et Mesures,

considérant que le Bureau International des Poids et Mesures sera ensuite en mesure d'organiser une comparaison générale des prototypes nationaux, comparaison qui devrait commencer vers 1989-1990,

recommande que les laboratoires concernés se préparent à envoyer au Bureau International des Poids et Mesures leurs prototypes nationaux du kilogramme en platine iridié, en vue d'une comparaison générale de ces prototypes.

* Une traduction non officielle en langue anglaise des Résolutions est publiée dans *Metrologia*, 25, 1988.

Étude de l'état superficiel des étalons de masse

RÉSOLUTION 2

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

que la stabilité à long terme est l'une des caractéristiques essentielles des étalons de masse,

que les perfectionnements apportés aux balances permettent aujourd'hui de mettre en évidence des variations de masse de quelques microgrammes sur un kilogramme,

que des variations de cet ordre ont été observées et ont pu être attribuées à des effets superficiels dus en particulier à la pollution par les agents atmosphériques,

que les méthodes utilisées pour nettoyer la surface des étalons de masse pourraient avoir des effets insoupçonnés,

que diverses méthodes modernes permettent d'étudier le comportement superficiel des alliages dont sont constitués les étalons de masse,

que des résultats importants ont déjà été obtenus à l'aide de ces méthodes concernant la contamination des surfaces,

recommande

que les laboratoires appliquent les diverses techniques maintenant disponibles pour étudier la composition et le comportement superficiels du platine allié à 10 % d'iridium et des autres alliages dont sont constitués les étalons de masse.

Prise en charge du Temps atomique international

RÉSOLUTION 3

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant l'importance des mesures de temps et en particulier de l'échelle de Temps atomique international, laquelle a déjà fait l'objet de la Résolution 2 de la Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures et des Résolutions 4 et 5 de la Quinzième Conférence Générale,

ayant pris connaissance des résolutions adoptées par les Unions internationales concernées, Union astronomique internationale, Union géodésique et géophysique internationale et Union radio-scientifique internationale,

rend hommage au Bureau International de l'Heure et à son organisme-hôte, l'Observatoire de Paris, pour la création du Temps atomique international et pour la qualité des travaux accomplis pour l'établir et le diffuser,

approuve les décisions du Comité International qui ont eu pour effet la prise en charge par le Bureau International des Poids et Mesures de l'établissement et de la diffusion du Temps atomique international,

et *recommande* aux institutions nationales concernées de poursuivre avec le Bureau International des Poids et Mesures leur collaboration pour l'établissement et l'amélioration du Temps atomique international.

Comparaisons de temps utilisant les liaisons par satellites

RÉSOLUTION 4

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

que la synchronisation de haute précision devient rapidement une condition essentielle des télécommunications modernes,

que les liaisons aller et retour par satellite permettent d'effectuer des comparaisons de temps à l'échelle internationale avec une très grande précision,

qu'il apparaît possible de transmettre des signaux horaires pseudo-aléatoires superposés à une utilisation normale des voies de communication sans qu'il y ait interférence,

que ces techniques de signaux pseudo-aléatoires permettent aussi de mesurer la distance du satellite avec une grande précision,

recommande

que les organes nationaux et internationaux responsables apportent leur soutien aux expériences utilisant les liaisons de télécommunication par satellites, notamment à l'aide de signaux pseudo-aléatoires, dans le cadre des programmes internationaux de liaisons horaires faisant partie de l'établissement du Temps atomique international.

Étude des effets perturbateurs dans la réalisation de la seconde

RÉSOLUTION 5

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

rappelle que

la définition de la seconde telle qu'elle résulte des décisions de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures sous-entend que l'atome de césium utilisé comme référence est au repos et n'est soumis à aucune perturbation,

ceci implique notamment que, dans la présente mise en pratique, les mesures doivent être corrigées en raison de la vitesse des atomes de césium par rapport au référentiel de l'horloge, en raison des interactions magnétique et électrique, de l'échange des spins et des autres perturbations éventuelles,

et *recommande*, afin de mettre en œuvre les corrections nécessaires,

que les études théoriques de tous les effets perturbateurs soient développées,

que les expériences permettant de mettre en évidence ces effets, d'en vérifier l'interprétation théorique et d'évaluer l'incertitude des corrections correspondantes soient poursuivies activement.

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^{er} janvier 1990.

Mise au point d'une nouvelle échelle internationale de température

RÉSOLUTION 7

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

que l'uniformité mondiale et la stabilité à long terme des mesures de température 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 la valeur de la température dans l'échelle pratique doit correspondre étroitement à la valeur de la température thermodynamique dans le SI,

que la Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures, ayant pris connaissance des écarts qui ont été mis en évidence entre la valeur de la température dans l'Échelle internationale pratique de température de 1968 (E IPT-68) et la valeur correspondante de la température thermodynamique, a chargé le Comité International des Poids et Mesures d'établir une nouvelle échelle qui devrait être sensiblement plus exacte,

qu'une nouvelle échelle pourra être proposée en 1989, échelle telle que les écarts résiduels avec la température thermodynamique seront négligeables pendant de nombreuses années à venir,

invite le Comité International des Poids et Mesures et les laboratoires nationaux à achever la mise au point de cette nouvelle échelle de température et à fixer une date pour sa mise en application simultanément dans tous les pays ; la valeur des écarts entre cette nouvelle échelle et l'E IPT-68 devrait être annoncée au moins un an avant l'adoption de la nouvelle échelle qui pourrait intervenir au 1^{er} janvier 1990.

Répartition des contributions

RÉSOLUTION 8

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant qu'après chaque Conférence Générale des Poids et Mesures la prise en compte des États qui ont adhéré à la Convention du Mètre après la Conférence Générale précédente devrait entraîner une réduction des pourcentages de répartition pour tous les autres États,

décide qu'un même facteur de réduction sera appliqué uniformément à tous les pourcentages de répartition, y compris le pourcentage maximal et le pourcentage minimal définis dans l'article 20 du Règlement annexé à la Convention du Mètre et modifiés par la Onzième et la Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures.

Dotation du BIPM

RÉSOLUTION 9

La Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

l'importance des travaux effectués par le Bureau International des Poids et Mesures et des services qu'il rend à tous les pays,

la nécessité d'assurer au Bureau International des ressources minimales qui ne mettent pas en danger la poursuite de ces activités et

la difficulté de prévoir, dans les circonstances économiques actuelles, les moyens financiers minimaux nécessaires pour permettre au Bureau International de remplir sa mission de centre mondial de la métrologie scientifique,

décide

que la partie fixe de la dotation annuelle du Bureau International des Poids et Mesures sera augmentée de telle façon que l'ensemble de la partie fixe et de la partie complémentaire (définie à l'Article 6 (1921) du Règlement annexé à la Convention du Mètre de 1875) soit, pour les États parties à la Convention à l'époque de la Dix-huitième Conférence Générale des Poids et Mesures, porté à

17 960 000 francs-or en 1989

18 858 000 francs-or en 1990

19 801 000 francs-or en 1991

20 791 000 francs-or en 1992.

INDEX

- Allocutions
secrétaire d'État auprès du ministre des
Affaires étrangères, 29
président du CIPM, 33
président de la Conférence, 33
- Bureau International des Poids et Mesures
(BIPM)
bâtiments, situation actuelle, projets, 39
dotation annuelle (*voir* à)
publications, 51
travaux 1983-87, 38, 42 ; programme futur,
22, 92
visite du, 71
- Comités consultatifs, rapports des présidents
activité des, 41
Électricité, 41, 64
Masse, 55
Mètre, 53
Photométrie et Radiométrie, 73
Rayonnements Ionisants, 75
Seconde, 40, 59
Thermométrie, 41, 67
Unités, 80
- Comité International des Poids et Mesures
décès et démissions depuis 1983, 42
rapport du président, 38
renouvellement partiel, 25, 42, 94 ; propo-
sition du CIPM, vote, 94
- Conférence Générale, convocation, constitution,
13
- Contributions (répartition des), 90, 101
- Déclaration
délégation française, thermométrie, 92
délégation italienne, célébration du « Système
Giorgi », 83
délégation thaï, traduction des documents,
87
ISO, Journée mondiale de la normalisation,
84
- Délégués
chargés du vote par État, 37
liste des, 5
proposition
de l'URSS, pourcentages de répartition de
la dotation, 90
de l'Argentine, applications industrielles
des rayonnements ionisants, retirée, 91
- Dépôt des prototypes métriques, visite, 71
- Dotation annuelle du BIPM, 23, 52, 85
résolution, 102
- Échelle internationale pratique de température
(EIP), 20, 67
- Électricité, travaux du BIPM, 47
- Étalons
électriques,
effet Hall quantique, 65
effet Josephson, 65
capacité, 48
volt et ohm, 19, 47, 64, 100
- longueur
à bouts, 43
à traits, 43, 54
base géodésique, 43
lasers, 43, 53
- masse
comparaison, 16
conservation, 56
en acier inoxydable, 45, 56
en Pt-Ir, 45
vérification des prototypes, 59 ; 3^e véri-
fication périodique des prototypes du
kilogramme, 16, 97
- neutroniques, 78
- photométriques et radiométriques, 48
- pression, 46
- Force, 56
- Gravimétrie, 45
- Groupes de travail
dotation du BIPM, composition, 52 ; rapport,
85
du CCDS sur le TAI, 61
du CCEMRI, 78
du CCM, 55
grandeurs aux radiofréquences (du CCE), 66
- Interférométrie, 44
- Longueurs, 43
- Masse
analyses de surface, 59
balances (NBS-2, Rueprecht, Mettler, à
suspensions flexibles), 45 ; prototypes de
(valeur des nouveaux), 59

- Masse volumique
de l'air, 17, 55
de liquides et solides, eau, 56 ; mercure, 56
- Mètre, définition du (mise en pratique, nouvelles études), 53
- Neutrons, 78
- Ordre du jour, provisoire, 14 ; commentaires sur l', 15 ; définitif, 28
- Photométrie-radiométrie, 21, 48, 73
- Pression, mesures de, 46, 57
- Programme de travaux futurs du BIPM, 22, 92
- Publications
du BIPM, 51
brochure sur le BIPM et la Convention du Mètre, 52
- Radiométrie (*voir* à Photométrie)
- Radionucléides, 50, 76
- Rayonnements ionisants, 22, 75 ; au BIPM, 49
- Rayons X et γ , électrons, 49, 75
- Résolutions adoptées
troisième vérification des prototypes du kilogramme, 97
étalons de masse (étude de l'état superficiel), 98
prise en charge du TAI, 98
comparaisons de temps utilisant les liaisons par satellites, 99
- réalisation de la seconde (étude des effets perturbateurs), 99
- volt et ohm (ajustement prévu des représentations), 100
- EIPT (mise au point d'une nouvelle), 101
- contributions (répartitions des), 101
- dotation du BIPM, 102
- Système Giorgi, 83
- Système international de référence, 50, 77
- Système international d'unités, 22, 80
brochure sur le SI, 22, 51
- Temps, 46, 59
atomique international (TAI), 17, 40, 46
prise en charge par le BIPM, 18, 27, 60, 98
échelle de temps, diffusion (LORAN-C, GPS), 62
liaisons horaires par satellites, 18, 46, 99
réalisation de la seconde, 61 ; effets perturbateurs, 19, 99
terrestre (TT), 47
universel coordonné (UTC), 46, 61
- Thermométrie, travaux du BIPM, 49
- Travaux du BIPM 1983-1987, 38, 42 ; programme futur, 22, 92
- Unités,
électriques, 19, 64, 100
thermométriques, 20, 67
Système international d', 22, 80

TABLE DES MATIÈRES

Comptes Rendus des Séances
de la 18^e Conférence Générale des Poids et Mesures
réunie à Paris en 1987

(Les numéros se rapportent au différents points de l'Ordre du jour)

Liste des délégués et des invités	5
Convocation à la Conférence et commentaires sur les principaux éléments du programme	13
Ordre du jour de la Conférence	28
Première séance, lundi 12 octobre 1987	
Discours d'ouverture de Mr D. Bariani, secrétaire d'État auprès du ministre des Affaires étrangères de la République française	29
Réponse de Mr D. Kind, président du Comité International des Poids et Mesures ...	33
Allocution de Mr A. Horeau, président de la Conférence (Mr A. Horeau confie ensuite la présidence de la Conférence à Mr J.-A. Aubouin)	33
2, 3, 4. Désignation de Mr J. de Boer comme secrétaire de la Conférence. Établissement de la liste des délégués chargés du vote, par État	37
5. Approbation de l'ordre du jour	38
6. Rapport du président du Comité International sur les travaux accomplis depuis la 17 ^e Conférence Générale (octobre 1983-octobre 1987) (Comité International; comités consultatifs; travaux du BIPM)	38
Constitution d'un « Groupe de travail pour la dotation du BIPM »	52
Deuxième séance, lundi 12 octobre 1987	
7. Définition du Mètre	53
Rapport du président du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (progrès dans les mesures de longueur d'onde et de fréquence des lasers)	53
Discussion	54
8. Masse et grandeurs apparentées; kilogramme	55
Rapport du président du Comité Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées (activité des différents groupes de travail; valeur des nouveaux prototypes du kilogramme fabriqués depuis la 2 ^e vérification périodique)	55

9. Seconde et échelle de Temps atomique international.....	59
Rapport du président du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (transfert de la responsabilité du TAI au BIPM ; progrès relatifs à la réalisation de la seconde ; diffusion de l'échelle de temps).....	60
Discussion	64
10. Étalons électriques	64
Rapport du président du Comité Consultatif d'Électricité (valeur à fixer du quotient fréquence-tension de l'effet Josephson pour la conservation du volt et du quotient tension-courant de l'effet Hall quantique pour la conservation de l'ohm ; incidence du changement prévu d'échelle de température).....	64
11. Échelle internationale pratique de température.....	67
Rapport du président du Comité Consultatif de Thermométrie (projet d'adoption d'une échelle internationale de température (EIT-90) qui entrerait en vigueur en même temps que les nouvelles valeurs des représentations du volt et de l'ohm).....	67
Discussion	69
Visite du Bureau International des Poids et Mesures et du Dépôt des Prototypes métriques, mardi 13 octobre 1987	
Visite des laboratoires du BIPM. Réception au Pavillon de Breteuil. Visite du dépôt des Prototypes métriques.....	71
Troisième séance, mercredi 14 octobre 1987	
12. Photométrie, radiométrie	73
Rapport du président du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (résultats des comparaisons internationales d'intensité lumineuse et de flux lumineux réalisées à la suite du changement de définition de la candela ; ajustement des valeurs attribuées aux étalons photométriques dans les laboratoires nationaux).....	73
13. Rayonnements ionisants.....	75
Rapport du président du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (travaux courants ; nouvelles valeurs de constantes nécessaires à la réalisation d'étalons d'exposition, de kerma dans l'air et de dose absorbée ; comparaisons internationales de mesure d'activité ; Système international de référence ; dosimétrie neutronique).....	75
Discussion	79
14. Système international d'unités.....	80
Rapport du président du Comité Consultatif des Unités (25 ^e anniversaire du SI ; 5 ^e édition de la brochure sur le SI, édition bilingue).....	80
Annonce par la délégation de l'Italie de la prochaine célébration du cinquantenaire du Système Giorgi.....	83
Intervention de Mr Thor rappelant que ce mercredi 14 octobre 1987 est la journée mondiale de la normalisation et le 40 ^e anniversaire de l'ISO.....	84
16. Dotation annuelle du Bureau International (rapport du Groupe de travail pour la dotation ; discussion ; votes indicatifs ; projet de résolution ; vote de la dotation pour la période 1989-1992 : Résolution 9).....	85
Quatrième séance, jeudi 15 octobre 1987	
Projets de résolution A, B, C, D, E, F, G ; suite de la discussion et votes	89
A. Troisième vérification des prototypes du kilogramme : le projet est adopté à l'unanimité (Résolution 1, p. 97).....	89

B. Étude de l'état superficiel des étalons de masse : le projet est adopté à l'unanimité (Résolution 2, p. 98).....	89
C. Prise en charge du Temps atomique international : le projet est adopté à l'unanimité (Résolution 3, p. 98).....	89
D. Comparaisons de temps utilisant les liaisons par satellites : le projet est adopté à l'unanimité (Résolution 4, p. 99).....	90
E. Étude des effets perturbateurs dans la réalisation de la seconde : le projet est adopté à l'unanimité (Résolution 5, p. 99).....	90
F. Ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm : le projet est adopté à l'unanimité (Résolution 6, p. 100).....	90
G. Mise au point d'une nouvelle échelle internationale de température : le projet est adopté à l'unanimité (Résolution 7, p. 101).....	90
17. Propositions de MM. les Délégués.....	90
Proposition de l'URSS ; présentation du projet de résolution H sur la répartition des contributions en cas d'adhésion d'un nouvel État membre ; discussion et adoption à l'unanimité (Résolution 8, p. 101).....	90
Proposition de la République argentine concernant certains aspects des applications industrielles des rayonnements ionisants : retrait de la proposition.....	91
15. Programme des travaux futurs.....	92
Présentation du document « Programme de travail et budget du Bureau International des Poids et Mesures dans les quatre années 1989-1992 ».....	92
Discussion.....	92
18. Renouvellement par moitié du Comité International. Proposition du CIPM (liste des membres sortants ; liste des candidats proposés par le CIPM ; les neuf membres sortants sont réélus).....	94
19. Questions diverses.....	95
Aucune question n'est soulevée.....	95
Remerciements du directeur du BIPM, du président du CIPM et du président de la Conférence.....	95
Texte des Résolutions adoptées	
— Troisième vérification des prototypes du kilogramme (information des laboratoires concernés) : Résolution 1.....	97
— Étude de l'état superficiel des étalons de masse : Résolution 2.....	98
— Prise en charge du Temps atomique international (hommage au BIH et à l'Observatoire de Paris ; approbation des décisions du CIPM) : Résolution 3.....	98
— Comparaisons de temps utilisant les liaisons par satellite (demande de soutien des organes nationaux et internationaux responsables) : Résolution 4.....	99
— Étude des effets perturbateurs dans la réalisation de la seconde : Résolution 5.....	99
— Ajustement prévu des représentations du volt et de l'ohm (invitation faite aux laboratoires à communiquer au CIPM leurs résultats concernant 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 ; adoption possible au 1 ^{er} janvier 1990 d'une valeur de chacun de ces quotients, valeur qui serait annoncée un an auparavant) : Résolution 6.....	100

— Mise au point d'une nouvelle échelle internationale de température (invitation à achever cette mise au point ; adoption possible d'une nouvelle échelle au 1 ^{er} janvier 1990 ; valeur des écarts entre la nouvelle échelle et l'EIPT-68 annoncée un an auparavant) : Résolution 7.....	101
— Répartition des contributions (nouvelle règle de répartition à appliquer en cas d'adhésion d'un nouvel État membre) : Résolution 8	101
— Dotation du BIPM pour la période 1989-1992 : Résolution 9	102
Index	103

IMPRIMERIE DURAND
28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal, Imprimeur, 1988, n° 6271
Achevé d'imprimer le 15 mars 1988
ISBN 92-822-2095-8
Imprimé en France

